

(技術資料)

## 地上式アンモニアタンク向け低硬度溶接材料

山口幸祐\*<sup>1</sup>

### Low-Hardness Welding Consumables for Onshore Ammonia Tanks

Kosuke YAMAGUCHI

#### 要旨

アンモニアは化学原料や肥料原料に加え、CO<sub>2</sub>を排出しない次世代クリーンエネルギーとして利用拡大が進んでおり、大型貯蔵タンクの需要が急増している。しかし液体アンモニア環境では鋼材に応力腐食割れ（SCC）が発生するリスクがあり、溶接部の硬さ管理が重要である。本稿では、アンモニアタンク向けに開発した低硬度溶接材料を紹介する。フラックス入りワイヤ「TRUSTARC™ DW-K50EA」、横向サブマージアーク溶接用ワイヤ／フラックス「TRUSTARC™ US-50EA／TRUSTARC™ PF-50EA-H」、および配管用TIG溶加材「TRUSTARC™ TG-SX1NA」は、-60～-40℃で優れた衝撃性能を有し、低硬度かつ高能率な溶接施工を実現する。これにより、アンモニアタンクの大型化・量産化に対応し、健全性・信頼性向上に寄与する。

#### Abstract

Ammonia's expanding use—as a chemical raw material and fertilizer feedstock, as well as a next-generation, zero-CO<sub>2</sub> energy carrier—is driving a surge in demand for large storage tanks. However, steel in liquid ammonia environments is susceptible to stress corrosion cracking (SCC), and controlling weld hardness is a critical issue. This article introduces low-hardness welding consumables developed for ammonia tanks: the flux-cored wire TRUSTARC™ DW-K50EA; the horizontal submerged-arc wire/flux pair TRUSTARC™ US-50EA/TRUSTARC™ PF-50EA-H; and the piping TIG filler metal TRUSTARC™ TG-SX1NA. These products deliver excellent impact toughness between -60°C and -40°C while enabling low-hardness, high-efficiency welding. They also support the upscaling and mass production of ammonia tanks and contribute to improved structural soundness and reliability.

#### 検索用キーワード

アンモニア、低温用鋼、SLA325A、溶接材料、フラックス入りワイヤ、サブマージアーク溶接、ティグ溶接、バックシールド、溶接ロボット、ARCMAN™ PORTABLE KI-700

まえがき＝アンモニアは、化学原料や肥料原料として使用されるだけでなく、燃焼時に二酸化炭素を排出しない次世代のクリーンエネルギーとして、石炭火力発電所の混焼燃料、船舶用燃料、燃焼水素キャリアにおける利用拡大が進んでいる。この動向に伴い、大規模なアンモニア貯蔵タンクの需要が急増しており、その設計・製造においては高い安全性、信頼性、そして施工効率が求められる。

液体アンモニア環境においては鋼材に応力腐食割れ（Stress Corrosion Cracking、以下、SCCという。）が発生するリスクが存在し、これはタンクの破損やアンモニア漏えいによる重大な安全・環境事故につながる。過去には1970～1980年代にSCC対策として「水分添加」や「材料強度制限」が導入され、一定の安全性が確保されてきた。しかし、近年の大型タンク需要や高強度鋼の適用検討により、従来の設計基準では対応が困難となり、再びアンモニアSCCが注目されている<sup>1)</sup>。

アンモニアSCCは、不純物（CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O）、電位条件、温度、材料硬さや微細組織など複数の因子に影響されることが知られている。とくに、硬さが200 HVを超える鋼材では感受性が高まり、陽極分極やCO<sub>2</sub>添加により割れ進展が加速することが報告されている<sup>2),3)</sup>。いっ

ぽうで、陰極分極や水分添加は抑制効果を示すが、実環境での適用には課題が残る<sup>4)</sup>。

このような背景から、溶接部の硬さ管理はアンモニアタンク設計における重要課題である。本稿では、アンモニアタンクの溶接施工に好適な低硬度溶接材料について紹介する。

#### 1. 地上式アンモニアタンクに求められる溶接材料の要件

アンモニアタンクに使用される鋼材は、SCCの観点から、例えば規格最小降伏点が355 MPa以上であって、実際の降伏点が440 MPa以下の鋼材を使用する規定（IGCコード第17.12章）がある<sup>5)</sup>。また、板厚38 mmを超える場合には、応力除去によるSCC感受性緩和を目的とした溶接後熱処理（Post Weld Heat Treatment、以下、PWHTという。）が要求される。平底円筒形のように大型のタンク全体にPWHTを施すのは非現実的であるため、多くの既存技術ではPWHTが免除される板厚（通常38 mm以下）でタンクを製造している。

具体的な鋼材として、JIS G 3126 SLA325Aが地上式アンモニアタンクに広く用いられている。アンモニアの液化温度は-33.4℃と低いため、このような低温環境で

\*<sup>1</sup> 溶接事業部門 技術センター 溶接開発部

も優れたじん性を有する溶接材料が選択される。なお、SCCは硬化部で発生しやすいことが知られており、WES7700-1 圧力設備の溶接補修ではブリネル硬さ210 HBW以下(220 HV以下)とすることが提案されている。地上式アンモニアタンクで求められる溶接金属の機械的性質の一例を表1に示す。本稿で紹介する溶接材料はこれら要件を満足することを目的として開発されたものである。

## 2. フラックス入りワイヤ (FCW)

アンモニアタンクの縦シーム溶接施工には従来被覆アーク溶接棒が広く用いられてきた。昨今、溶接効率化の観点からFCWと自動溶接機を組合せた立向上進溶接の需要が高まっている。当社では、アンモニアタンク向けFCW材料としてTRUSTARC™<sup>TM</sup> DW-K50EAを新たに開発した。以下にその詳細を紹介する。

TRUSTARC™ DW-K50EAはルチール系FCWであり、溶接時に発生するスラグが全姿勢溶接における溶融池の垂れを防止してビード形状を整え、溶融金属と開先のなじみを良好にする。当社の持つ小型可搬型溶接ロボットARCMAN™<sup>TM</sup> PORTABLE KI-700(以下、KI-700という。)の立向溶接モードに搭載可能であり、高度な自動化需要に対応している。アンモニア環境でのSCC回避のため、溶着金属の表面硬さを可能な限り低減している。材料規格を表2に示す。

### 2.1 溶着金属の諸性能

TRUSTARC™ DW-K50EAの溶着金属の諸性能を調査した。溶着金属の化学成分を表3に、溶接のままの機械的性質を表4に示す。低硬度かつ-50℃での吸収エネルギーが良好な溶着金属が得られている。溶着金属の拡散性水素量を表5に示す。拡散性水素量は約3 mL/100gと低い値を示している。

### 2.2 立向上進溶接継手の諸性能

TRUSTARC™ DW-K50EAを用いて小型可搬型溶接

表1 地上式アンモニアタンクで求められる溶接金属の機械的性質  
Table 1 Required mechanical properties of weld metal for onshore ammonia tanks

	Tensile properties		Notch toughness		Hardness
	0.2%PS (MPa)	TS (MPa)	Absorbed energy		
Targets	Min.325	Min.440	Min. 47 J at -40°C		Max. 220 HV
JIS G 3126 SLA325A	Min.325	440~560	Min. operating temperature is -45°C		-

表2 溶接材料の適用規格

Table 2 Applicable standard for welding consumable

Welding consumables	Wire dia. (mm)	Applicable standards
TRUSTARC™ DW-K50EA	1.2	JIS Z 3313 T495T1-ICA-N2-U

表3 溶着金属の化学成分 (mass%)<sup>\*1</sup>

Table 3 Chemical composition of the deposited metal (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
0.06	0.25	1.08	0.007	0.006	0.01	1.00

\*1 Location: Center of the deposited metal

脚注1) TRUSTARCは当社の登録商標である。

脚注2) ARCMANは当社の登録商標である。

ロボットKI-700による立向上進溶接試験を行い、溶接継手の諸性能を評価した。試験条件および溶接条件を表6および表7に示す。KI-700がセンシングした開先形状に応じて、最適な溶接条件(溶接電流-アーク電圧-溶接速度-ウィービング方法)と積層パターンが自動的に算出された。

溶接継手のビード外観、断面マクロおよび放射線透過試験結果を表8に、溶接金属の化学成分を表9に、その機械的性質を表10に示す。溶接継手においても、低硬度かつ-50℃で良好な低温じん性を確保できている。

表4 溶着金属の機械的性質<sup>\*1,2,3,4</sup>

Table 4 Mechanical properties of the deposited metal

Tensile properties <sup>*5</sup>			Notch toughness <sup>*5</sup>			Hardness <sup>*6</sup> (HV5)
0.2%PS (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	Absorbed energy (J) (Brittle fracture: %)			
			-60°C	-50°C	-40°C	
460	535	30	97 (45)	92 (40)	142 (25)	165~194 Avg. 182
			130 (25)	121 (35)	133 (25)	
			65 (50)	133 (35)	137 (25)	
			Avg. 97 (43)	Avg.115 (37)	Avg.137 (25)	

\*1 Test condition is according to JIS Z 3313

\*2 Base metal: JIS G 3106 SM490A 20 mm; Buttered with TRUSTARC™ DW-K50EA

\*3 Welding condition: 270 A-29 V; Heat input=1.5 kJ/mm

\*4 Shielding gas: 100%CO<sub>2</sub> (25 L/min)

\*5 Size of test specimens is based on JIS Z 3111

Tensile test specimen: Round tensile specimen, Dia.=10.0 mm, G.L.=50 mm

Charpy impact test specimen: 10 mm×10 mm square shape, 2 mm V notch

\*6 Measurement at macro-section, 1 mm below the surface

表5 拡散性水素試験結果<sup>\*1,3</sup>

Table 5 Diffusible hydrogen test results

Polarity	CTWD <sup>*4</sup> (mm)	Diffusible hydrogen content (mL/100g)			
		N=1	N=2	N=3	Avg.
DCEP <sup>*2</sup>	25	3.1	3.1	3.5	3.2

\*1 Test method: JIS Z3118, gas chromatography method

\*2 Welding condition: 270 A-28 V-350 mm/min; 1.2 mm wire dia.

\*3 Shielding gas: 100%CO<sub>2</sub> (25 L/min); Welding atmosphere: 21°C×20%RH

\*4 Contact tip to work distance

表6 試験条件

Table 6 Test condition of both side butt joint welding

Wire	TRUSTARC™ DW-K50EA (1.2 mm)	
Welding equipment	ARCMAN™ PORTABLE KI-700	
Base metal	JIS G 3126 SLA325A, 38 mm <sup>t</sup> × (150+150) mm <sup>w</sup> × 600 mm <sup>l</sup>	
Welding position	Vertical up (3G)	
Polarity	DCEP	
Welding condition	1st pass: 150 A 22 V 2nd pass: 180 A~200 A 23~24 V	
Pass sequence	1st side: 4layers 6passes 2nd side: 3layers 3passes	
Heat input	1st side: Avg.2.2 kJ/mm 2nd side: Avg.1.8 kJ/mm	
Preheat and Interpass Temp.	100~150°C	
CTWD <sup>*1</sup>	20 mm (Cap pass: 18 mm)	
Torch angle <sup>*2</sup>	Approx. 0°	
PWHT	None (As welded)	

\*1 Contact tip to work distance

\*2 Backhand angle: 15°

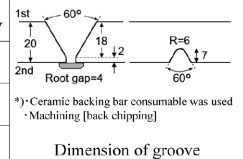


表7 KI-700が生成した溶接条件  
Table 7 Welding conditions generated by ARCMAN™ PORTABLE KI-700

Welding side	Layers -Passes	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (mm/min)	Weaving width (mm)
1st	1-1	150	22	75	7.8
	2-2	200	24	124	11.7
	3-3	190	23	160	5.7
	3-4	190	23	160	5.7
	4-5	190	23	108	11.4
	4-6	190	23	128	11.4
2nd	1-1	180	23	150	8.0
	2-2	200	24	166	10.6
	3-3	190	23	130	16.3

表8 ビード外観、断面マクロおよび放射線透過試験結果

Table 8 Bead appearance, macrostructure and radiographic test results

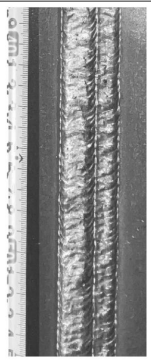
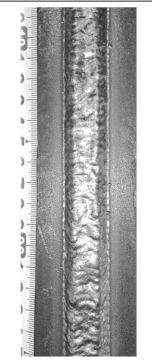
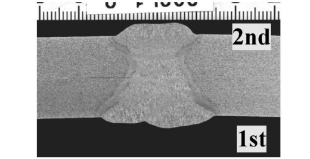
	1st	2nd
Bead appearance		
Macro structure		
Radiographic test	Satisfactory JIS Z 3104 class 1	

表9 溶接金属の化学成分 (mass%)\*1

Table 9 Chemical composition of weld metal (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
0.06	0.33	1.28	0.007	0.005	0.04	0.90

\*1 Location: Center of weld metal

表10 溶接金属の機械的性質\*1

Table 10 Mechanical properties of weld metal

Tensile strength of butt joint*1 (MPa)	Location*2	Notch toughness*3		Hardness*4 (HV5)	
		Absorbed energy (J) [Brittle fracture (%)]		Surface	Center
		-53°C	-40°C		
521 (Broken at base metal)	F	91 (50)	130 (25)	190~214 Avg.203	178~206 Avg.192
		105 (45)	125 (35)		
		106 (50)	133 (30)		
	B	Avg.101 (48)	Avg.129 (30)	178~209 Avg.199	
		87 (45)	126 (10)		
		121 (35)	123 (20)		
		84 (40)	143 (10)		
		Avg. 94 (40)	Avg.131 (13)		

\*1 Size of tension specimen: 20 mm t x 30 mm l (according to JIS Z3121)

\*2 Location of specimen: [F] 6.5 mm below 2nd surface, [B] 6.5 mm below 1st surface

\*3 Size of impact test specimen is based on JIS Z 3111

Charpy impact test specimen: 10 mm x 10 mm square shape, 2 mm V notch

\*4 [Surface] Measurement at macro-section, 1mm below 2nd surface

[Center] Measurement at macro-section, 1mm below 1st surface

[Center] Measurement at macro-section, center of weld metal

### 2.3 KI-700使用による施工能率の向上効果

溶接士による半自動溶接では、立向姿勢での最大連続溶接長は600 mm程度と考えられる。KI-700においては、この制限がないため、溶接長が1,000 mm以上といった長尺溶接においても安定した連続溶接が可能となっている。また、溶接士が立向継手の溶接位置に合わせて足場を移動するといったことも不要になる。さらに、KI-700はスラグを除去する作業以外は常時監視することなく溶接可能なため、溶接士が一人で2継手の施工作業を同時に行うことも可能になる。

板厚20 mm、溶接長2,400 mmの立向溶接継手を溶接士が一人60箇所を施工した場合の、溶接作業の工数(人時)の試算結果を図1に示す。溶接準備の内訳はスラグ除去、ビード継ぎ(グラインダ作業含む)、裏はつり、

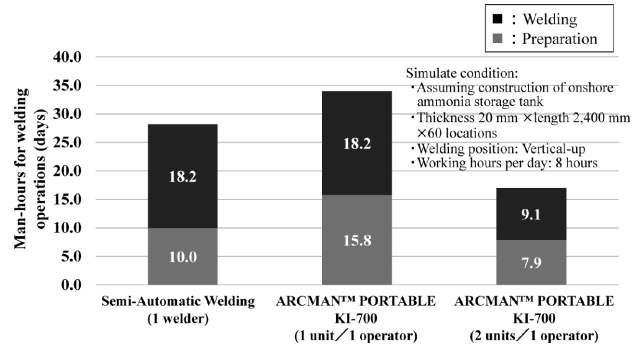


図1 溶接作業の工数(人時)の試算結果  
Fig.1 Estimated man-hours for welding operations

コンタクトチップ交換である。KI-700を適用する場合には、これにレール設置作業とKI-700による開先センシング時間が加わるために準備時間は長くなる。溶接作業時間は半自動溶接と変わらないものの、溶接士が休憩中でも稼働できるため一日当たりの生産性は高くなる。さらに、一人の溶接士が2台のKI-700を扱って交互に準備と溶接を行うことで、溶接工程の労働時間は半自動溶接に比べて約40%短くなり工期の短縮を図ることができる。

### 3. サブマージアーク溶接(SAW)材料

平底円筒形の地上式LNGタンクにおいて、円周溶接継手は横向SAWによる施工事例が多いが、アンモニアタンクにおいても同様の需要がある。当社では、アンモニアタンク向け横向SAW材料としてTRUSTARC™ US-50EA/TRUSTARC™ PF-50EA-Hを新たに開発した。以下にその詳細を紹介する。

TRUSTARC™ US-50EA/TRUSTARC™ PF-50EA-Hはアンモニア環境下での耐SCC性向上を目的に、溶接金属が低硬度かつ合金(Ni添加量)を抑えた横向SAW材料である。その特長は、フラックス設計の最適化により良好な低温じん性と横向姿勢における良好なスラグ剥離性およびビード形状を確保できる点である。材料規格を表11に示す。

#### 3.1 溶着金属の諸性能

TRUSTARC™ US-50EA/TRUSTARC™ PF-50EA-Hの溶着金属の諸性能を調査した。直流(DCEP)における溶着金属の化学成分および溶接のままの機械的性質を表12および表13に示す。低硬度かつ-60°Cにおいても吸収エネルギーが良好な溶着金属が得られている。溶着金属の拡散性水素量を表14に示す。拡散性水素量は約4 mL/100gと低い値を示している。

#### 3.2 横向溶接継手の諸性能

TRUSTARC™ US-50EA/TRUSTARC™ PF-50EA-Hの組合せで横向溶接継手の諸性能を評価した。試験条件および溶接条件を表15に示す。

溶接継手のビード外観、断面マクロおよび放射線透過試験結果を表16に、溶接金属の化学成分を表17に、その機械的性質を表18に示す。溶接継手においても、低硬度かつ-60°Cでも良好な低温じん性を確保できている。

表11 溶接材料の適用規格\*1

Table 11 Applicable standards for welding consumables

Welding consumables	Wire dia. (mm)	Applicable standards
[T]US-50EA*2	2.4, 3.2, 4.0, 4.8	JIS Z 3351 YS-S3 AWS A5.17 EM12K
[T]PF-50EA-H*2	-	JIS Z 3352 SAFB1
Wire-flux combination	-	AWS A5.23 F7A8-EM12K

\*1 Polarity: DCEP  
\*2 [T]: TRUSTARC™

表12 溶着金属の化学成分 (mass%) \*1,2,3

Table 12 Chemical composition of the deposited metal (mass%)

Wire-flux combination	Polarity	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
[T]US-50EA, [T]PF-50EA-H*4	DCEP	0.06	0.23	1.48	0.013	0.001	0.11	0.01

\*1 Location: Center of the deposited metal  
\*2 Base metal: JIS G 3106 SM490A, 25 mm  
\*3 Welding condition: 525 A-30 V-420 mm/min; Ext.=30 mm; 4.0 mm wire dia.  
\*4 [T]: TRUSTARC™

表13 溶着金属の機械的性質 \*1,2,3

Table 13 Mechanical properties of the deposited metal

Tensile properties*4			Notch toughness*4			Hardness*5 (HV10)
0.2%PS (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	Absorbed energy (J) (Brittle fracture: %)			
			-80°C	-60°C	-40°C	
449	529	35	192 (39)	208 (25)	187 (30)	168~220 Avg. 208
			178 (40)	237 (20)	230 (18)	
			142 (51)	220 (28)	282 ( 0)	
			Avg.171 (43)	Avg.222 (24)	Avg.233 (16)	

\*1 Test condition is according to AWS A5.23  
\*2 Base metal: JIS G 3106 SM490A 25 mm  
\*3 Welding condition: 525 A-30 V-420 mm/min; Ext.=30 mm; 4.0 mm wire dia.  
\*4 Size of test specimens is based on AWS B4.0  
Tensile test specimen: Round tensile specimen, Dia.=12.7 mm, G.L.=50.8 mm  
Charpy impact test specimen: 10 mm × 10 mm square shape, 2 mm V notch  
\*5 Measurement at macro-section, 1 mm below the surface

表14 拡散性水素試験結果\*1

Table 14 Diffusible hydrogen test results

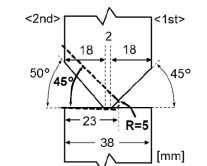
Wire-flux combination	Polarity	Diffusible hydrogen content (mL/100g)				
		N=1	N=2	N=3	N=4	Avg.
[T]US-50EA, [T]PF-50EA-H*3	DCEP*2	4.9	3.9	4.4	4.6	4.4

\*1 Test method: AWS A4.3, gas chromatography method  
\*2 Welding condition: 550 A-30 V-350 mm/min; Ext.=30 mm; 4.0 mm wire dia.  
Redrying condition: 350°C × 1 hr, Welding atmosphere: 10°C × 76%RH  
\*3 [T]: TRUSTARC™

表15 試験条件

Table 15 Test condition of both side butt joint welding

Wire-flux combination*1	Wire: [T]US-50EA (3.2mm dia.), Flux: [T]PF-50EA-H
Base metal	JIS G 3126 SLA325A, 38 mm <sup>2</sup> x (150+150) mm <sup>2</sup> x 1000 mm <sup>2</sup>
Welding position	Horizontal (2G)
Current (Polarity)	400~450 A (DCEP)
Arc voltage	24~25 V
Pass sequence	1st: 4layers 7passes 2nd: 5layers 20passes
Heat input	Avg.1.7 kJ/mm
Preheat Temp.	100~110°C
Interpass Temp.	100~150°C
Torch angle*2	Approx. 23°
PWHT	None (As welded)



\*1 [T]: TRUSTARC™  
\*2 Forehand, backhand angle: 0°

表16 ビード外観, 断面マクロおよび放射線透過試験結果

Table 16 Bead appearance, macrostructure and radiographic test results

2nd bead appearance	Macrostructure	Radiographic test
		Satisfactory JIS Z 3104 class 1

表17 溶接金属の化学成分 (mass%)

Table 17 Chemical composition of weld metal (mass%)

Location	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
2nd side*1	0.07	0.24	1.39	0.012	0.002	0.13	0.05
1st side*2	0.08	0.26	1.33	0.011	0.002	0.14	0.09

\*1 7mm below 2nd side surface  
\*2 7mm below 1st side surface

表18 溶接金属の機械的性質\*1

Table 18 Mechanical properties of weld metal

Loca- tion*1	Tensile properties*2			Notch toughness*2			Hardness*3 (HV10)	
	0.2%PS (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	Absorbed energy (J) (Brittle fracture: %)			Surface	Center
				-80°C	-60°C	-40°C		
F	512	575	32	153 (40)	235 (18)	211 (18)	163~239 Avg.201	161~208 Avg.186
				172 (35)	298 ( 0)	288 ( 0)		
				145 (35)	240 (15)	240 (18)		
				Avg.157 (37)	Avg.258 (11)	Avg.246 (12)		
B	531	586	35	205 (23)	219 (15)	225 (12)	168~240 Avg.206	161~208 Avg.186
				185 (35)	244 (23)	291 ( 0)		
				169 (33)	216 (13)	280 ( 0)		
				Avg.186 (30)	Avg.226 (17)	Avg.265 ( 4)		

\*1 Location of specimen: [F] 7 mm from 2nd side, [B] 7 mm from 1st side  
\*2 Size of test specimens is based on JIS Z 3111  
Tensile test specimen: Round tensile specimen, Dia.=6.0 mm, G.L.=24 mm  
Charpy impact test specimen: 10 mm × 10 mm square shape, 2 mm V notch  
\*3 [Surface] Measurement at macro-section, 1 mm below 2nd surface  
[Center] Measurement at macro-section, center of weld metal

## 4. ティグ (TIG) 溶接溶加材

アンモニアタンク配管の溶接にはTIGによる円周溶接が広く用いられている。当社では、アンモニアタンク配管向けTIG溶加材としてTRUSTARC™ TG-SX1Aを新たに開発した。以下にその詳細を紹介する。

TRUSTARC™ TG-SX1Aは裏波ビードの形状不良防止や酸化防止にバックシールドが必須であった従来の低温用鋼向けTIG溶加材に対し、バックシールドなしで健全な裏波溶接を可能としたTIG溶加材である。材料規格を表19に示す。

### 4.1 水平固定管溶接継手の諸性能

TRUSTARC™ TG-SX1Aを用いて水平固定管溶接継手の諸性能を評価した。試験条件を表20に示す。

溶接継手のビード外観, 断面マクロおよび放射線透過試験結果を表21に示す。ビード形状 (なじみ, 裏ビード余盛高さ), 耐ブローホール性は良好である。溶接金属の化学成分を表22に, その機械的性質を表23に示す。溶接継手において, 低硬度かつ-40°Cで良好な低温じん性を確保できている。

表19 溶接材料の適用規格

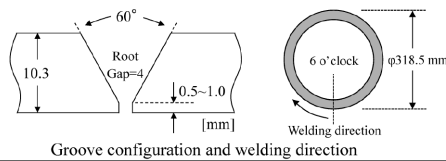
Table 19 Applicable standards for welding consumable

Welding consumable	Rod dia. (mm)	Applicable standards
TRUSTARC™ TG-SX1NA	2.0, 2.4, 3.2	JIS Z 3316 W49A4U 0 AWS A5.28 ER70S-G

表20 試験条件

Table 20 Test condition of horizontally fixed pipe welding

TIG rod (Dia.)	TRUSTARC™ TG-SX1NA(2.4 mm)
Pipe	JIS G 3460 STPL380 (10.3 mm thickness, O.D 318.5 mm)
Welding position	Horizontally fixed pipe (5G)
Welding current	Root pass: 120 A (13 V) Hot to Cap pass: 180 A (14 V)
Pass sequence	5passes - 5layers
Shielding gas	100%Ar
Back shielding	None
Preheat temp.	None (RT)
Interpass temperature	100~150°C
PWHT	None (As welded)



Groove configuration and welding direction

表21 ビード外観、断面マクロおよび放射線透過試験結果

Table 21 Bead appearance, macrostructure and radiographic test results

	6~5 o'clock	5~3 o'clock	3~2 o'clock	2~12 o'clock
Bead appearance				
Macro structure				
Radiographic test		Satisfactory JIS Z 3104 class 1		

表22 溶接金属の化学成分 (mass%) \*1

Table 22 Chemical composition of weld metal (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo
0.03	0.68	1.11	0.004	0.006	0.12	0.48	0.09

\*1 Location: Center of weld metal

表23 溶接金属の機械的性質\*1

Table 23 Mechanical properties of weld metal

Tensile strength of butt joint*1 (MPa)	Notch toughness*2		Hardness*3 (HV10)
	Absorbed energy (J) (Brittle fracture: %)		
	[Lateral Expansion: mm]		
520 (Broken at Base metal)	-60°C	-40°C	134~188 Avg.151
	63 (60) [1.58]	222 (11) [2.46]	
	168 (47) [2.53]	183 (29) [2.34]	
	72 (76) [1.73]	258 ( ) [1.97]	
	Avg.101 (61) [1.28]	Avg.220 (13) [2.26]	

\*1 Size of tension specimen: 10.3mm<sup>l</sup> × 20mm<sup>b</sup> (according to JIS Z 3121)

\*2 Size of Charpy impact test specimen: 10mm<sup>w</sup> × 7.5mm<sup>b</sup>, 2mm V-notch (subsize specimen)

\*3 Measurement at macro-section, center of weld metal

むすび = 2025年2月に閣議決定された「第7次エネルギー基本計画」において、アンモニアはカーボンニュートラル実現に向けた有力な選択肢に位置づけられており、2030年時点では300万トン、2050年時点では2,000万トンの国内年間需要が見込まれている<sup>6)</sup>。

本稿では、アンモニアタンクの溶接に好適なFCW材料「TRUSTARC™ DW-K50EA」、SAW材料「TRUSTARC™ US-50EA/TRUSTARC™ PF-50EA-H」とアンモニアタンク配管の溶接に好適なTIG溶加材「TRUSTARC™ TG-SX1NA」について紹介した。いずれもアンモニアタンクの高効率な溶接施工に寄与するとともに、低硬度かつ-60~-40°Cで良好な低温じん性を有する溶接金属を得ることができる。これにより、今後、溶接継手の健全性・信頼性のみならず、タンクの大型化・量産化が求められるアンモニア分野での幅広い適用が期待される。

#### 参考文献

- 1) 柳本史教ほか. International Journal of Hydrogen Energy. 2025, Vol.120, p.89-100.
- 2) 柳本弘毅. 圧力技術. 1980, Vol.18, No.6, p.295-300.
- 3) 今川博之. 日本金属学会誌. 1976, Vol.40, No.12, p.1256-1263.
- 4) 今川博之. 日本金属学会誌. 1977, Vol.41, No.3, p.218-225.
- 5) 東南智之ほか. R&D神戸製鋼技報. 2023, Vol.72, No.1, p.65-69.
- 6) 経済産業省 資源エネルギー庁. 第7次エネルギー基本計画. 2025, p.50-51.