

ダクタイル鋳鉄管を用いた摩擦圧接

Friction Welding of DCI Pipes

前川恵一* 高原 渉* 下保哲二* 道浦吉貞* 喜多川 真好** 堀江 皓***

Keiichi Maekawa, Wataru Takahara, Tetsuji Shitabo, Yoshisada Michiura, Masayoshi Kitagawa, Hiroshi Horie

摩擦圧接法は、摩擦熱を有効に利用して材料を接合する方法であり、現在、自動車部品、産業機械部品、一般工具など多方面に適用されている。これらはステンレス鋼や炭素鋼が大部分を占め、摩擦圧接に用いられる部材として鋳鉄材料は比較的少ない。これは、圧接により熱影響を受けた部分がセメンタイトの析出により硬化したり、球状黒鉛鋳鉄の場合は黒鉛形状が変形するなどして、機械的特性を著しく低下させるためである。

本研究では、上記の欠点を回避してダクタイル鋳鉄管を良好に接合することができる摩擦圧接方法を提供することを目標とし、実験を行ったのでその内容について報告する。

Friction welding is one of joining method; it has many applications on various industries. However, spheroidal graphite cast iron used for the DCI pipes is hardly applied. Because, brittle phase (cementite) is formed and spheroidal graphite is deformed. In the case of cast iron known to be a poor weldability, it is necessary for maintaining the mechanical properties to not to formed cementite and deformed graphite and to decrease the HAZ (heat affected zone).

In this paper, we have obtained the welding method of DCI pipe ($\phi 150$) without spoiling its ductility by following condition; friction pressure is 40MPa and upset pressure is 50MPa. In addition, by increasing of Si contents the ductility was improved.

1. はじめに

鋳鉄の接合は自動車産業、産業機械分野など幅広い分野で要求されている。しかし、鋳鉄は難溶接材料とされており、これは鋳鉄を溶融状態から急冷すると、準安定系共晶により炭素が溶接金属部やボンド部にセメンタイトとして晶出しやすいからである。そこで、固相接合法である摩擦圧接法を取上げ、鋳鉄接合への適応性を検討した。



図1 推進工法
Fig. 1 Pipe jacking method

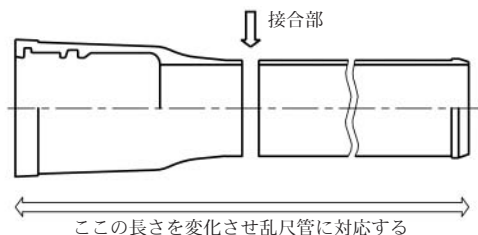


図2 摩擦圧接による乱尺管製造方法
Fig. 2 Pipe production method of friction welding

一方、上水、下水をはじめライフラインの重要な一翼を担っているダクタイル鋳鉄管はさまざまな分野で流体輸送などに用いられている。ダクタイル鋳鉄管の布設は主として埋設であるが、近年都市部をはじめ管布設工事に関する環境が厳しくなり、開削工事でなく非開削工事である推進工法の採用が増加している(図1)。

推進工法においては、発進坑のスペースが制限されるため、定尺(4m~6m)より短い乱尺管(1m~3.5m)の要求がほとんどである。現状は定尺管より乱尺管を切り取った残材(0.5m~5m)は廃棄されており、資源の損失を招いている。そこで、この乱尺管の製造法として摩擦圧接法を用いる(図2)。すなわち、鋳鉄管受口部に必要とする長さの直管を、あらかじめ工場で接合、準備することで省資源化が図れるのである。

2. 目的

本研究の目的は、前述の欠点を回避し、ダクタイル鋳鉄管を良好に接合することができる摩擦圧接方法を提供することである。機械的特性は、JIS G 5526のダクタイル鋳鉄管に規定された引張強度420MPa以上、伸び10%以上を目標値とした。

3. 摩擦圧接法の概要

摩擦圧接法は接合しようとする材料を突き合わせて加圧し、その接触面において機械的に相対運動を行わせ、発生する摩擦熱を熱源として利用する接合方法である。一般に、金属材料を原子寸法の程度にまで近接させて結合するには大きな力を要するので、通常、材料の変形抵抗を低下させるほかない。材料の変形抵抗を低下させるもっとも簡単な手段はそれを高温に加熱することである。

* 鉄管事業部 鉄管研究部

** 鉄管事業部

*** 岩手大学 工学部材料物性工学科 教授

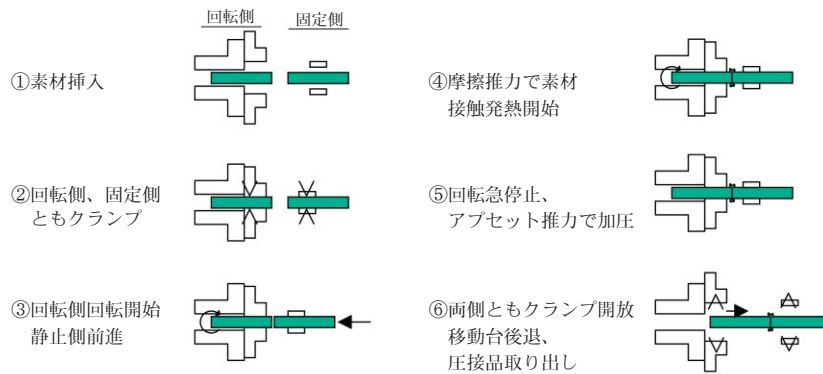


図3 摩擦圧接サイクル
Fig. 3 Cycle of friction welding

る。この熱源には、種々のエネルギーが用いられるが、摩擦圧接法は材料間の摩擦熱を用いるものである。

現在実用化されている摩擦圧接の方法には大別して2つの方式がある。ブレーキ法とフライホイール法であるが、本研究ではブレーキ法を用いて実験を行った。ブレーキ法の圧接サイクルを図3に示す。

4. 実験方法

4.1 供試材

遠心力鋳造法により作製した呼び径150mmのダクタイル鋳鉄管(管厚7.5mm)を用い、回転側のワーク長さ100mm、固定側のワーク長さを350mmとし、管端面は平面加工を行った。ダクタイル鋳鉄管の標準組成を表1に示す。

表1 ダクタイル鋳鉄管の組成
Table 1 Chemical composition of DCI pipe

mass%					
C	Si	Mn	P	S	Mg
3.6	1.7	0.2	0.03	0.01	0.03

4.2 使用機種

ブレーキ式摩擦圧接機である日東制機製のFF-120 II型を用いた。

4.3 摩擦圧接条件

摩擦圧接条件を表2に示す。摩擦圧力を10~60MPa、アプセット圧力を摩擦圧力+10MPaの条件で実験を行っ

た。また、すべての条件で摩擦時の寄代が5mmになった時点でアプセット工程に入るよう設定を行った。

表2 摩擦圧接条件
Table 2 Condition of experiment

摩擦圧力 P_1	10~60 MPa
摩擦時間 t_1	10 s以上
アプセット圧力 P_2	20~70 MPa
アプセット時間 t_2	10 s
回転数 N	850 min^{-1}

4.4 鋳鉄組成のSiに関する条件

ダクタイル鋳鉄管に含まれる成分としてSi濃度が、接合後の機械的性質にどのような影響を及ぼすかについて調査した。用意したダクタイル鋳鉄管のSi濃度は1.7(標準)、2.0、2.5、3.0mass%の4種類である。

5. 実験結果

5.1 摩擦圧接条件

実験結果を表3に示すが、 P_1 が10MPaの場合、ワークは溶融することなくアプセット工程に入った。その結果、ワークを取り出す際に接合部より分離してしまった。 P_1 を20MPaにすると溶融するが溶融開始までに比較的長時間を要した。 P_1 が20MPa以上では液相を伴った圧接条件であった。最も短時間で溶融したのは P_1 が40MPaの場合で、15s程度でアプセット工程に入った。 P_1 が60MPa以上では安定してワークが溶融しなかった。

表3 実験結果
Table 3 Result of experiment

試験 No.	摩擦		アプセット		全寄代 mm	脱炭層 mm	熱影響部 mm
	P_1 MPa	t_1 s	P_2 MPa	t_2 s			
1	10	86	20	10	接合不良		
2	20	61	30		6.2	0.4	10.4
3	30	21	40		5.9	0.3	5.2
4	40	15	50		6.1	0.2	3.5
5	50	25	60		6.6	0.2	6.9
6	60	19	70		6.7	0.2	5.4

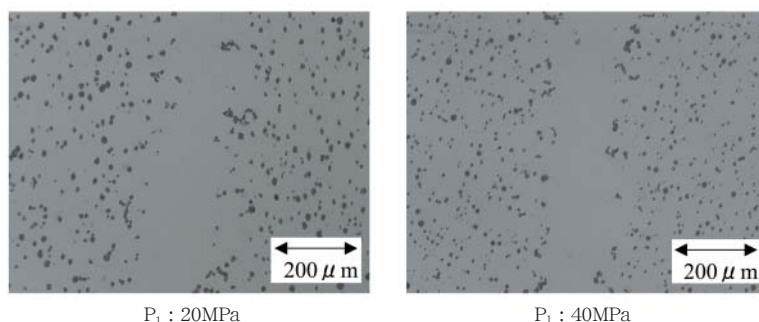


図4 顕微鏡写真
Fig. 4 Microstructure

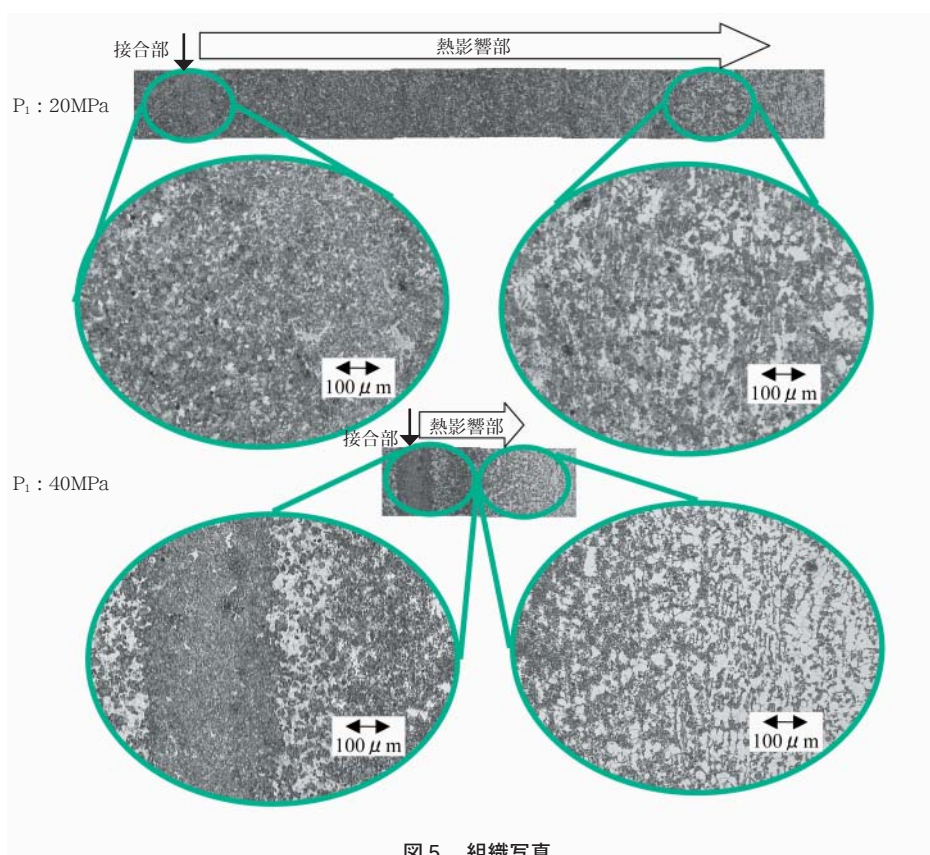


図5 組織写真
Fig. 5 Microstructure

表3のうち、 P_1 が20MPaおよび40MPaの場合の顕微鏡写真を図4に示す。接合部付近に黒鉛の消失した部分が確認される。これは、接合時に球状黒鉛がオーステナイトへ溶け込んだためと考えられる。このため、接合部付近には接合後の冷却により晶出したパーライト組織が確認され、母材側方向にフェライトへと連続的に変化している(図5)。 P_1 が20MPaと40MPaでは摩擦時間の違いから、20MPaの方が40MPaより熱影響部が広がっている。また、従来からの問題点であった黒鉛の変形層は本条件下では確認されなかった。

次に、接合部を中心として図6に示す試験片に加工し引張試験を行った。その結果を表4に示す。 P_1 が20~60MPa

の条件下ではすべて母材破断しており、引張強度はほぼ同等である。摩擦時間と伸びはほぼ反比例の関係にあり、最も摩擦時間の少なかった P_1 が40MPaの条件で伸びが最高値を示しており呼び径150mmの場合の最適条件といえる。

5.2 組成の影響

Si量を調整したパイプを用いて、5.1項で得られた最適条件である P_1 が40MPa、 P_2 が50MPaで接合を行った結果を表5に示す。Si量による摩擦時間 t_1 の変化は確認されず、すべての条件で液相を伴った摩擦圧接であった。接合後の顕微鏡写真を図7に示すが、Si量が増加す

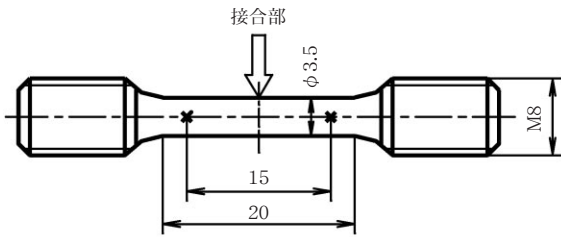


図6 引張試験片
Fig. 6 Specimen of tensile test

表4 引張試験結果
Table 4 Result of tensile test

試験 No.	引張強度 MPa	伸び %
1	-	-
2	476	0.7
3	468	7.2
4	478	10.2
5	475	5.6
6	469	6.6

表5 実験結果
Table 5 Result of experiment

試験 No.	Si 濃度 mass%		摩擦		アプセット		全寄代 mm	脱炭層 mm	熱影響部 mm
	回転側	固定側	P ₁ MPa	t ₁ s	P ₂ MPa	t ₂ s			
1-1	1.7	1.7	40	15	50	10	6.1	0.2	3.5
1-2	2.0	2.0		13			5.8	0.1	3.0
1-3	2.5	2.5		12			5.9	0.1	2.8
1-4	3.0	3.0		14			5.7	0.0	2.9
2-1	1.7	2.0	40	12	50	10	5.8	0.2	3.2
2-2	1.7	2.5		12			5.7	0.2	3.0
2-3	1.7	3.0		15			5.8	0.2	3.1

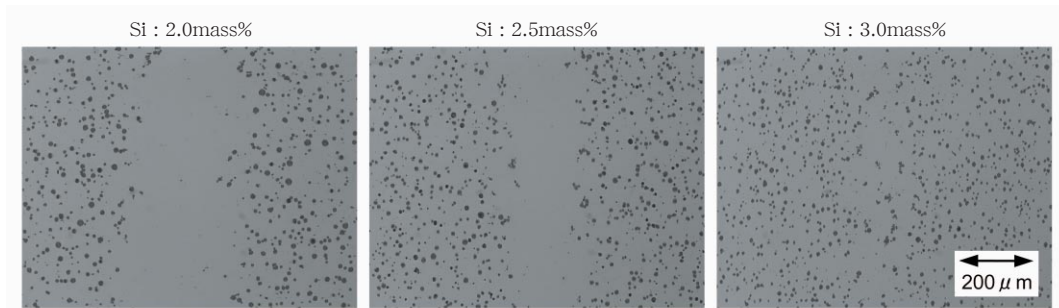


図7 顕微鏡写真
Fig. 7 Microstructure

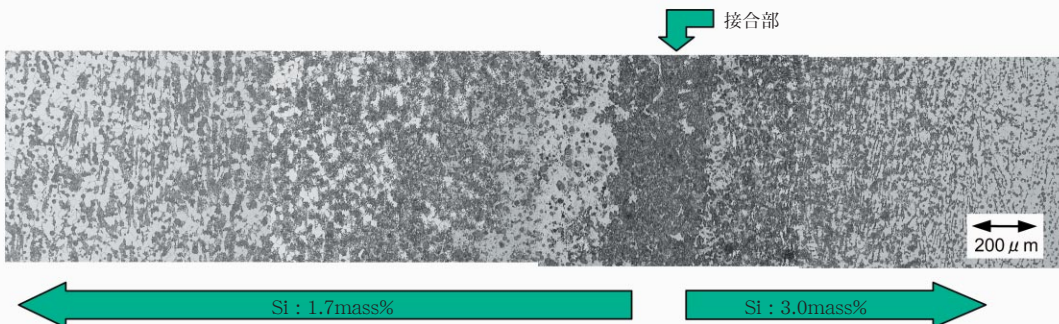


図8 組織写真
Fig. 8 Microstructure

るに従って黒鉛の消失層が減少していることが確認できる。これは、Siの増加によりマトリックス中へのCの溶解度が減少するため、接合部周辺の黒鉛化が促進されていると考えられる。また、試験No.2-3 (Siが1.7mass%と

3.0mass%との組み合わせ)における接合後の組織写真を図8に示す。Siが3.0mass%側では、1.7mass%側と比較してパーライト組織が少ない。これも、Siの増加による接合部の黒鉛化促進が影響している。

5.1項と同様に引張試験を行った結果を表6に示す。引張強度はほぼ同等であるが、Siの増加に伴い伸びが向上している。これは、前述の理由からSiの増加に伴いフェライトが増加しているためである。なお破断部はすべて母材であった。また、いずれか一方のSi濃度を増加させることでも、延性の向上を図れることが確認できた。

表6 引張試験結果
Table 6 Result of tensile test

試験 No.	引張強度 MPa	伸び %
1-1	478	10.2
1-2	452	11.3
1-3	465	12.7
1-4	488	13.3
2-1	457	11.3
2-2	473	12.5
2-3	478	12.2

6. 性能試験

6.1 供試体

摩擦圧接法により作製した呼び径150mmのダクタイル鋳鉄管(管厚6.0mm)を供試体とした。摩擦圧接条件は、摩擦圧力40MPa、アプセット圧力50MPaで行った。

6.2 試験項目

試験項目および試験条件を表7に、試験状況を図9に示す。

なお、管体引張試験、管体圧縮試験および管体曲げ試験で負荷した荷重Wまたは曲げモーメントMは、以下に示すように耐震用継手であるNS形ダクタイル管の継手基本性能を参考にした。

①管体引張試験および管体圧縮試験

NS形継手の離脱防止力である3 DkN(D:呼び径mm)の1.5倍とした。

$$W = 3 \times 150 \times 1.5 = 675 \text{ kN}$$

②管体曲げ試験

NS形継手における限界曲げモーメント(17.5kN・m)の1.5倍とした。

$$M = 17.5 \times 1.5 = 26.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

6.3 試験結果

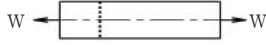

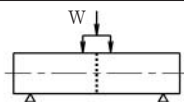
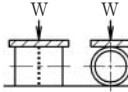
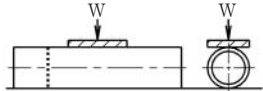
6.3.1 管体引張試験

NS形継手における離脱防止力の1.5倍の引張荷重(675kN)を負荷したが、接合部に異常は全く認められなかった。

6.3.2 管体圧縮試験

NS形継手における離脱防止力の1.5倍の圧縮荷重(675kN)を負荷したが、接合部に異常は全く認められなかった。

表7 試験項目
Table 7 Item of test

試験項目	試験条件
管体引張試験	675kNまで荷重を負荷 
管体圧縮試験	675kNまで荷重を負荷 
管体曲げ試験	26.25kN・mまで曲げモーメントを負荷 
リングへん平試験	たわみ率が6%となるまで荷重を負荷 
管体へん平試験	たわみ率が6%となるまで荷重を負荷 
管体水圧試験	管体に6.0MPaの水圧を負荷
腐食試験	塩水噴霧試験および塩水浸漬試験

注) 接合部





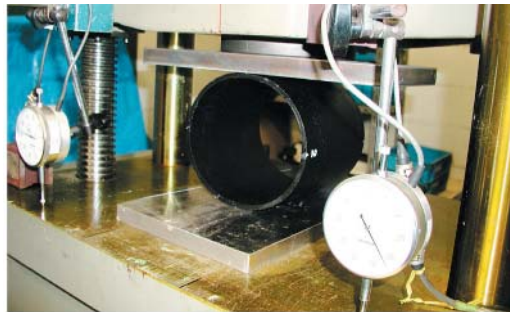
管体引張試験



管体圧縮試験



管体曲げ試験



リングへん平試験



管体へん平試験



管体水圧試験



腐食試験

図9 試験状況
Fig. 9 View of test

6.3.3 管体曲げ試験

接合部を中央にして両端2点で支持した状態で、NS形継手における限界曲げモーメントの1.5倍の曲げモーメント(26.25kN・m)を負荷したが、接合部に異常は全く認められなかった。

6.3.4 リングへん平試験

たわみ量が管外径の6%となるまで圧縮試験機により荷重を負荷したが、接合部に異常は全く認められなかった。

6.3.5 管体へん平試験

たわみ量が管外径の6%となるまで圧縮試験機により荷重を負荷したが、接合部に異常は全く認められなかった。

6.3.6 管体水圧試験

水圧を6.0MPaまで負荷したが、接合部に漏水などの異常は認められなかった。

6.3.7 腐食試験

供試体から接合部を中心に、150×75mmの試験片を切出し、塩水噴霧試験および3%塩水浸漬試験を行ったが、接合部の異常はなく通常品との差異は認められなかった。

7. 施工事例

本法により作成されたNS形ダクタイル鋳鉄管を用いてさや管方式の推進工法による実施工を行った。その結果、通常の製品と同等の機械的特性を備えていることから、問題なく施工できることを確認した(図10、図11)。

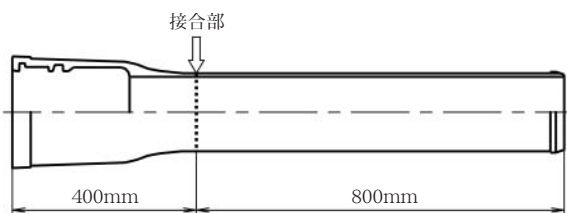


図10 供試体
Fig. 10 Specimen



図11 施工状況
Fig. 11 State of construction

8. おわりに

本研究から以下に示す結論が得られた。

- 1) 摩擦圧力40MPa、アプセット圧力50MPaの条件下でダクタイル鋳鉄管(φ150)を良好に接合できることが確認できた。
- 2) Si量を増加させることで、接合部の延性を向上させることができた。

本技術がダクタイル鋳鉄管の製作におけるリサイクルのひとつの手法となることを確信している。

執筆者

前川 恵一

Keiichi Maekawa

平成10年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事

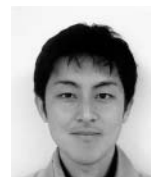


高原 渉

Wataru Takahara

平成12年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



下保 哲二

Tetsuji Shitabo

平成4年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



道浦 吉貞

Yoshisada Michiura

昭和58年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事

工学博士



喜多川 真好

Masayoshi Kitagawa

昭和42年入社

ダクタイル管の研究・開発を経て

鉄管事業部技師長



堀江 皓

Hiroshi Horie

岩手大学

工学部材料物性工学科 教授

岩手大学

地域共同研究センター センター長



栗本トピックス

トップロール移動式ベンディングロール



加圧能力	25,000kN
最大板幅	5,000mm
最大板厚	130mm(SS400相当)
トップロール径	φ1,200mm(クラウニング、高周波焼き入れ)
交換用トップロール径	φ800mm(クラウニング、高周波焼き入れ)
ボトムロール径	φ700mm
ボトムロールピッチ	1,300mm
トップロールシフト量	±400mm
駆動電動機	160kW×10P
機械重量	約400トン

この物件の引き合いをある造船メーカーから突然電話で頂いた時の第一声は“うそでしょう”であった。これだけ大型のベンディングロールの実績があるメーカーはなく、高精度の端曲げができるベンディングロールとしては世界最大だったからである(その時点での当社のベンディングロール最大実績は、埼玉工場稼働中の加圧能力13,500kN、最大板幅4,200mmであった)。本機はクリモト開発の演算機能と曲げ行程制御が付加されており、経験と勘に頼っていた板曲げ成形を数値制御することにより、成形時間を大幅に短縮し製品精度を向上させた。

このベンディングロールは、LPG(液化石油ガス)船のタンク胴体部の形成用として使用されている。LPGは環境に優しいエネルギーとして脚光をあびており、今後の需要増が大きく見込まれる。それにつれて、LPG用タンクの需要も大きく伸びるといわれている。このような背景の中、現在数社から引き合いをいただいております、受注に向けて全力で取り組んでいる。

なお、この機械は2002年1月16日付の日刊工業新聞で記事として掲載された。