② プラントエンジニアリング産業における海外製造事情*

岩 本 博 之**, 小 杉 和 彦***

岩本 博之

小杉 和彦

Some Aspects of Overseas Engineering Business Activities*

by Hiroyuki Iwamoto** and Kazuhiko Kosugi***

キーワード：プラント、エンジニアリング、機器、海外、製造、調達

1. プラントエンジニアリング産業とは

プラントとは、“物を生産するシステム化された工場設備”¹⁾であり、原子力発電所、石油精製工場等がその代表例である。このプラントの設計、調達、建設および試運転等の業務を一貫して行う企業をエンジニアリング会社（以下“エンジ会社”と記す）と称している。

プラント建設には、土木、建築、電気、計装、圧力容器、回転機、配管、加熱炉等の技術分野にかかわる各種機能が必要であり、機能毎に客先の要求、仕様に合致した機器、資材の調達および建設工事を行う必要がある。

一つの大型石油精製プラントでは、圧力容器が200～300基、配管重量が1万トン、タンクが数十基にもなり、配管重量が1万トンあれば、その周継手の総延長は、約50kmにもなる。

プラントの製造という面から見れば、その業務内容は、(1) 設計、(2) 調達および (3) 建設工事に大きく分類される。

これら3段階の費用がプラント建設総費用に占める割合は、プラントの種類および規模にもよるが、設計が10～15%、調達が45～55%および建設工事が30～40%程度であることが多い。

本文では、海外調達の中心である圧力容器の海外製造事情について主に述べる。

2. プラント建設における海外生産の割合の推移

日本のエンジ会社が海外でプラント建設を始めた頃は、前記全業務を国内の材料、機器、設備および人材を

使って遂行しており、建設現場は海外でも、国内での建設と同じ環境であった。しかしその後、円高、プラント価格の低下、国内での材料、人件費の上昇等の外的要因に対し、プラントの建設費を下げるため、エンジ会社はその業務を海外にシフトせざるを得なくなった。

プラントエンジニアリング産業における海外シフトは、圧力容器、配管資材等の海外での調達から始まり、現在では、図1²⁾に示すエンジ会社3社の海外案件での海外調達比率のように、3社とも60～80%の割合まで上昇している。

海外調達比率の高まりはコスト低減が主目的であり、国内・外でのコストを比較すれば、例えば、圧力容器の重量当り単価は、価格が基本的に米ドル建てのため当然

図1 エンジ会社3社の海外案件での海外調達比率

*原稿受付 平成9年1月17日

**正 員 千代田化工建設(株) Member, Chiyoda Corporation

*** 千代田化工建設(株) Chiyoda Corporation

為替レートに左右されるが、国内価格の20～30%安価にて調達可能である場合が多い。このため、国内でのプラント建設でも、圧力容器等を輸入する例が増加している。また、人件費も、効率を無視して単価のみを比較すると、例えば、欧米は日本の50%前後、東南アジアはさらにその50%程度(日本と比べて約25%)と安価である。当然、この比率も為替レートにより変動する。

次に、建設工事業務が海外にシフトした。当初は技能者まで全て日本人だったのが、下請負業者が現地企業で監督者は日本人となり、現在では、監督者も英国人を初めとする非日本人となっている。

最後まで残っていた設計業務も、最近、海外への移転が進んでいる。大手のエンジ会社は、東南アジア等に設計子会社を設立し、そこで現地の安い労働力を有効に利用し、設計業務を行っている。

しかし、コストダウンのために安価な海外に発注せざるを得ないとはいえ、海外で製造する機器は、安かろう、悪かろう、遅かろうを覚悟せざるを得ない場合が多く、客先の仕様および納期を満足する機器を、いかに安く納期通りに調達するか国内エンジ会社は頭を悩ませているのが現状である。

特に、日本のエンジ会社は短期間にてプラント建設を行うことが欧米のエンジ会社に対する優位性であったが、これは、徹夜も厭わずに、2シフトあるいは3シフトにて機器の製造、現地工事を遂行した機器メーカーおよび現地工事下請負業者の協力に負うところが大きかった。しかし、現在では、海外への発注比率の増加に伴い、欧米のエンジ会社と同様な機器メーカー、現地工事請負業者に発注し、なおかつ短納期でプラント建設を行うのに多大な困難を伴う場合が多くなっている。

海外シフトはコスト低減を求めてのみでなく、客先(特に国営企業あるいは準国営企業が客先の場合)によっては、ファイナンスあるいは産業育成を理由に、特定の機器あるいはある割合以上の機器を、特定国のメーカーから調達することをエンジ会社との契約条件に含めている場合もある。

3. 日本における製造と海外における製造の違い

圧力容器の製造に関する国内・外の大きな違いは、素材、製造および製作品目の違いに分けられ、以下これらについて述べる。

3.1 素材の違い

3.1.1 素材の品質

海外で製造された素材は、非金属介在物が多い等品質的に劣る場合がしばしば見られる。例えば、板材自体が2枚板状であったり、開先面で開口部が認められる場合がある。また、炭素当量や合金元素の添加量が多く、溶接時に割れを生じたり、硬さの規定値を越えてしまう場合もある。

寸法的にも、径あるいは肉厚のばらつきが大きかった

り、場合によっては偏肉した管も見受けられる。また、大板あるいは長尺管の入手が困難なため、容器の溶接線の位置が非対象になったり、熱交換器のチューブを溶接でつないで使用している場合もある。

鏡板等の加工品でも、寸法のばらつきが大きく、加工時に割れ等が生じている場合も見受けられる。

また、調達可能な材料の規格がASTMあるいはDIN等世界的に使用されているものではなく、その国独自の規格の場合もあり、それらを使用する場合は事前に本来要求されている材料規格との比較検討が必要である。

3.1.2 素材の AVAILABILITY

不具合や設計変更により生じる、素材および加工品等の追加調達は、開発途上国では非常な困難を伴うことがある。すなわち、その国の周辺産業のレベルが大きく影響する場合がある。

国内調達機器の品質が高いのは、製造メーカーの技術力に負う部分もちろん大きいですが、国内材料メーカーから高品質な素材が提供されている側面も見のがしてはならない。

3.2 製造プロセスの違い

圧力容器の製造方法は、基本的には板を曲げて長手溶接を行い胴を製作し、その両端に皿状あるいは半球状の鏡と呼ばれる“ふた”を周溶接にて取り付けるため、国によって大きな違いは見られないが、計画段階、工程管理、仕上げ状況および独自法規への対応に違いが見られる。

3.2.1 計画段階

海外では、製作および検査の計画が不十分な場合が多い。例えば、施工手順が充分検討されておらず、検査あるいは反対側からの溶接が不可能になったり、変形に対する配慮および対策が不足していたために、許容値を上回る変形が生じて手直しが必要になる場合もある。特に、設計会社と製造会社が異なる場合は、設計会社は製作方法を考慮しないで製作図面を作成する場合があるため、アクセス出来ない部分の溶接を図面に指示している場合もある。

3.2.2 工程管理

海外では、プロジェクト担当者が、大日程は組むものの、綿密な進捗状況のチェックとその評価および遅れへの対策を講じられるようなシステムが構築されていない会社も多く、しばしば納期遅れのトラブルが生じる。

3.2.3 仕上げ状況

海外調達品の外観は、溶接部の余盛は当然、ひどい場合にはスラグ、スパッター等が付着したまま、塗装され出荷される場合がある。これに比べ、国内調達品は、入念に手入れされたものが出荷される場合もある。これは、国内での人件費が安かった時代には可能であったが、その後の人件費の高騰を考えると、高温・高圧機器等の重要な機器、あるいは繰り返し応力が負荷される等の重要な部分を除き、必要以上の処理を除いてコストダウンを

図2 Monel クラッド施工模式図

計ることも検討する必要があるとし、エンジ会社およびユーザーもこれを理解・協力すべきであろう。

3.2.4 独自法規への対応

国内では、高圧ガス取締法あるいはボイラー構造規格等の各種規定に関わる機器の、設計、施工法および実体試験等は、官庁あるいはその指定機関の（立会）承認が必要である。海外でも国によってそれぞれの法則があり、その内容に応じた対応が必要であり、例えば、新たな設計手法を用いる場合には、有限要素法による計算のみでは不十分で、実体模型を製作して破壊試験を行い、応力あるいは歪みを測定し、それが規定値以下になっていることを検証する必要がある場合もある。

3.3 製作品目

国内では、圧力容器、熱交換器、加熱炉等何でも注文に応じ製作する工場が多いが、海外では、熱交換器ならそのみとか、炭素鋼製品は製作せず、ステンレス鋼および非鉄機器の専門工場に特化している例が多い。

4. 海外生産における問題点

海外機器メーカーの機器発注は低価格であれば良いというものではない。材料調達、機器製作技術、工程管理および品質管理の点から発注者（エンジ会社）が海外メーカーの能力を評価し、発注先を決定する。機器メーカーの実力は、設備のみならず技術者、監督者および技能者の数と質に左右されるのは国内と変わりなく、国によってはそれらの人材の移動が流動的なため、能力評価の見直しが必要なることもある。

海外生産における問題点の多くは、品質上の問題と、納期の問題に大きく分けられ、以下これらについて述べる。

4.1 品質上の問題

品質上の問題点は、素材の問題と、製造時の技術力不足によるものと大きく分類される。

4.1.1 素材の問題

素材にラミネーションがあったり、非金属介在物、あるいは合金元素が多くて予期せぬ割れが生じる場合がある。トラブルが生じた場合、海外の溶接技術者は、日本と比べよりホワイトカラーの色彩が強く、溶接あるいは製作要領を作成および指示するのみで、製作や工事現場

と遊離している場合が多く、発生したトラブルに適切な対策を講ずるのが遅れ、補修回数が増えたり、材質劣化が生じたり、納期遅延の原因になったりもする。

また、配管および配管関連の小物類（曲げ管、異径管等）のような規格品は、“ストックスト”と呼ばれる商社に類似した企業から購入するため、これがしばしばトラブルの原因になる。ストックストは、必ずしも製造メーカーの品質管理能力を充分評価し、自分達が品質に対して充分な確信を得て材料をストックしているわけではなく、ストック品中に粗悪品が混入する場合もある。これら粗悪品が工事中に発見されると、小物類は多数使用されており、不良品と良品の選別（場合によって取り替え）に多大の時間および費用を要する。

4.1.2 技術力不足

溶接に対する技術力が不足しており、溶接時の拘束、逆歪み、溶接順序、溶接条件、溶接方法等の検討不足のため、割れその他の欠陥の発生、変形過大等の欠陥を生じることもあり、それ以外に、異材溶接時の溶接材料の選定不良等のトラブルも生じている。

溶接技術者が現場と離れているため、現場に充分細かい指示が伝わらずトラブルの原因になる場合もある。例えば、クラッド鋼製の胴本体にフランジを取り付け、その内面を肉盛溶接するような場合には、後で機械加工により余盛を削ることが溶接士の念頭にないため、図2に示すように、下盛りを厚めに肉盛してしまい、後の機械加工時に下盛り部が露出、接液して耐食性を劣化させた例もある。

また、溶接後熱処理時に治具の検討が不十分なため、容器が長手方向に変形したり、断面形状が楕円に変形し、矯正出来ずに再製作が必要になったりする場合もある。

さらに、国内には、技術は会社に帰属し、人の異動があっても技術力の低下は殆どなく、一定水準の品質の機器が通常は出荷される。しかし、海外では事情が大きく異なり、技術は人につれて動く場合が多い。海外では、製作あるいは溶接の技術者および監督者も簡単に会社を移り、彼がいたから製作できたが、いなくなると不可能な状況に陥るという場合もあり、先のプロジェクトで上手く行ったからといっても、次に発注する時には誰が担当者なのかを確認する必要がある場合がある。

4.2 納期上の問題

納期遅れは、先述したように、専任の工程管理者がいなかったり、工程管理システムがないことにも起因するが、材料の納期遅れ、欠陥品入荷のための再発注に時間を要するのが原因になる場合もある。国内では、在庫量が豊富なための、少量ならば短納期で入手可能な場合もあるが、国によって高級材料は国外から調達せざるを得ない場合もあり、そのような国では再発注のために数箇月を要し、結果として機器の納期も遅れてしまう。

また、会社全体の能力を大幅に越えて受注する場合もあり、他の工事と実施時期が重なり、資材、人材が不足、納期遅れを招く場合もある。

器および資材の発注、および人的資源の海外シフトを行ってきた。しかし、それも限界に近づいているようにも思える。すなわち、表面的に低価格な企業に発注すれば、それに伴い、国内発注品と同レベルの品質を期待できる可能性は低下し、製作の指導、納期の監視・確保のための人材投入、設計変更等に伴うコストアップおよび納期遅延等を生じ、国内発注に比べ、当初は予測できなかったコストアップ要因が増加する。そのため今後は、単に表面的な価格のみでなく、品質・コスト・納期・トラブル時の対応に要するコストおよび期間等、総合的な観点からの発注先の選択に移行すると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 玉置明善：エンジニアリング産業論，東洋経済新報社
- 2) 日経産業新聞，(1996) 11月19日

5. む す び

プラントエンジニアリング産業界では、プラントの総建設費の低下を計るため、海外のより低価格地域への機

平成8年度

溶接工学夏期大学教材

定価 5000円

目 次

溶接プロセスの基礎とその関連技術

(1) 溶接・熱加工プロセスの基礎現象	牛 尾 誠 夫
(2) レーザ加工の基礎と実用化の現状	宮 本 勇
(3) 溶接変形の支配因子とその制御	村 川 英 一
(4) 溶接部の材料学的特性と溶接性	廣 瀬 明 夫
(5) 溶接部の強度評価と継手設計へのアプローチ	南 二三吉
(6) 溶接部の非破壊評価	廣 瀬 貞 雄
(7) 溶接プロセスのモデル化と溶接条件の最適化	黄 地 尚 義
(8) ロボット工学の基礎と溶接への適用	笠 上 文 男
(9) 画像計測技術の基礎と生産システムへの適用	藤 本 公 三
(10) CAD/CAM技術の基礎と課題	荒 井 栄 司
(11) アーク溶接の自動化技術	杉 谷 祐 司