

下川原 直明
SHIMOKAWARA Naoaki

本多 啓三
HONDA Keizoh

岡本 保雅
OKAMOTO Yasumasa

ガス絶縁開閉装置 (GIS: Gas Insulated Switchgear) を構成する主要部品の一つであるアルミタンクの製造自動化ラインを構築した。タンクは、素材の切断、製缶・溶接、機械加工、塗装の各工程を経て完成するが、特に高い技能を要し、自動化しにくい溶接、塗装工程においても革新的な技術を開拓することにより、ライン全体の自動化を完成した。また、絶縁性能上高品質を要求される絶縁スペーサについては、樹脂材料の混合工程を完全に無人化したクローズドプロセスと、製造工程・移送の自動化を図った新注型ラインを完成した。これらの製造技術革新により、GIS 全体の品質向上と経済性向上が期待できる。

The aluminum pressure vessel is one of the most important key parts of a gas-insulated switchgear (GIS). We have constructed an automatic tank manufacturing line which performs the processes of material cutting, welding, machining, and painting. Up to now, very high levels of manual skill have been indispensable, especially in the welding and painting processes. These skills have been realized in the new automatic line by innovative technologies.

Insulating spacers are also important parts for which extremely high quality is required. We have developed a new molding production system for insulators which incorporates an automated resin mixing process and an automatic heat control system.

These new production lines are expected to enable higher quality GIS with better cost effectiveness.

1 まえがき

GIS の製造技術は、急速な製品開発と経済や科学など社会のさまざまな変化に対応しながら、GIS の基本品質と経済性を“物づくり”的な面から製品につくり込んできた。GIS は、製造当初から組立防塵(じん)体制を整備し、注型品製造体制、アルミ銀めっき技術を確立して製造を開始した。1969 年に 72 kV GIS 実用第一号器を世に送り出し、71 年にはアルミタンクの製造技術を確立して大容量 GIS の基本技術を早々に整備した。その後、大容量化に伴う 6 m の大物アルミタンクの製缶・加工や大口径絶縁スペーサのヒータコントロールによる高品質注型、ガス遮断器の油圧機構部品の精密加工へと展開した。また、組立てにおいても防塵室の再整備を図り、GIS 内装組立てにおける「異物を出さない、入れない、残さない」の徹底を図るとともに、絵入りチェックシートによる品質つくり込みを行った。

GIS 製造の中でも重要なものの、タンクの製缶・溶接技術、絶縁物の注型技術がある。今回、さまざまな革新的な製造技術を開拓して自動化や人間介在レス化を図り、生産性を向上させるとともに品質向上を図った製造ラインを構築した。

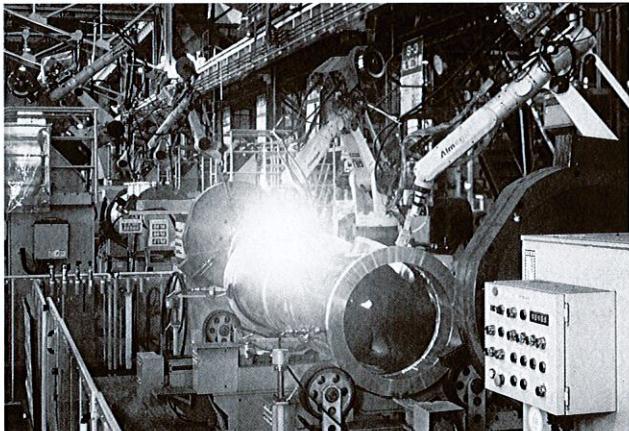


図1. 溶接口ボット GIS タンクの両側のフランジを 2 台のロボットで同時に溶接する。タンクは回転し、溶接トーチがウェーピング動作する。工程の短縮と品質の安定化に威力を発揮している。

Welding robot

いたタンク主胴の真円出しのためのハンマ作業、そして手作業によるフランジ組立て・溶接、さらには塗装まで作業者の技能に頼るところが多い製法であった。

そこで、技能の定量化、溶接口ボット(図1)導入などの自動化のための技術革新および製造に合わせた製品設計の改善によりアルミタンク製造方法を一新した。これにより、製造リードタイムを大幅に短縮するとともに、組立部門へタンクを直接投入するシステムをつくり上げることができ

2 アルミタンク製造革新

アルミタンク製造は、素材のプラズマ切断、円筒状に巻

た。

2.1 アルミタンク製造工程

アルミタンク製造工程は、素材を切断後パイプ状に丸め、分岐部の塑性加工後フランジを溶接する。その後フランジ面を高精度に加工し、水圧・気密試験を行って圧力容器としての品質を確認し、最後に塗装を行って完成する。

フランジ部の溶接は、製缶公差が大きく、また高い溶接技能を要することから自動化が難しい分野とされてきたが、新技術の開発によって自動化一貫ラインを構築した。

2.2 アルミタンク製造技術開発

2.2.1 主胴部フランジ溶接の自動化

タンク主胴とフランジを接合するフランジ溶接ロボットを図2に示す。フランジの溶接は下向き溶接を採用した。

アルミニウムは、鉄系材料に比べて融点が低くかつ溶融金属の粘性も小さいため、溶接条件範囲が狭く高能率溶接が困難であった。そこで、高能率・高品質であるダブルワイヤ溶接法(図3)を開発した。

ダブルワイヤ溶接法とは、ワイヤの後方から新たにフィラーを挿入し、溶融池を沈静化することにより溶接条件の拡大が可能となる。この方法により大電流化／高速化を達成し、溶接能力を大幅に向上させることができ、高品質で

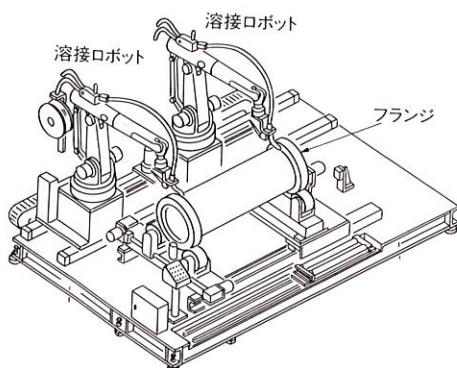


図2. フランジ溶接ロボット タンク両端のフランジを2台の溶接ロボットで同時に全周溶接する。外周溶接後、内周溶接する。

Flange welding robot

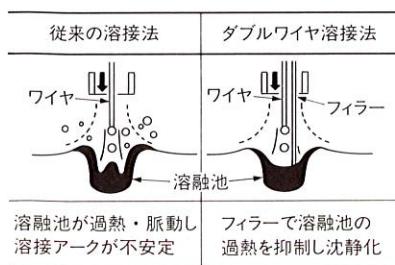


図3. アルミニウムの溶接現象比較 フィラーを追加したダブルワイヤ溶接法により溶融池の過熱・脈動を抑制し、ロボットでも安定し均一化した溶接ビードを実現した。

Comparison of aluminum welding phenomena

均一な溶接が可能となった。

2.2.2 分岐部フランジ溶接の自動化 タンク分岐部のフランジを接合する溶接ロボットを図4に示す。フランジの溶接は横向き溶接を採用した。この横向き溶接の場合は、溶融アルミニウムが重力方向に下るため、これを防止する改善が必要となる。さらに高能率化するため、新しい溶接方法を開発した。

図5に新しい溶接方法を示す。

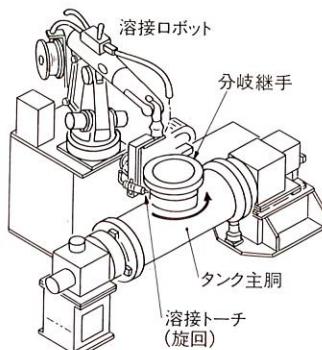


図4. 分岐部フランジ溶接ロボット 溶接トーチの動きと溶接電流を同期制御する新しい溶接法により、ロボットによる横向き溶接を開発した。
Branch flange welding robot

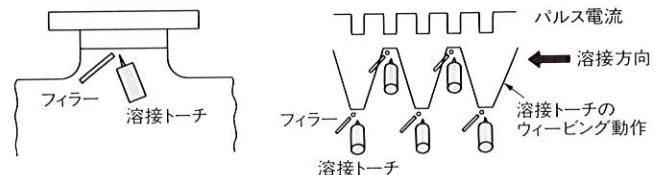


図5. 溶接トーチ動作とパルス電流の制御 溶接パルス電流をトーチのウィーピング動作に合わせることにより、溶融下がりのない均一なビードを確保できる。

Control of torch movement and pulse current

これは溶接トーチを溶接方向に対して左右に振るウィーピング動作と低周波パルス溶接電流を同期させ、フィラーワイヤ(アルミニウム)の溶滴移行と重力による溶融池の湯流れを制御する方法である。これにより溶滴の離脱は安定し、溶接ビードが均一化するとともに溶接速度も大幅に向上了。

2.2.3 アルミタンク塗装技術 ベテランの作業者による塗装方法をビデオに納め、その動作の一つ一つを詳細に分析し、この技能を2台のロボットの動きに反映させた。2台のロボットは固定したアルミタンクを挟むように設置され、走行するスライダ軸とロボット自身の6軸とを合わせて合計7軸から制御されている(図6)。

このロボットを用いて塗装の吹付け圧力／吹き付け距離の最適条件を選択することにより、分岐や脚をもつタンクでもつねに安定した塗装膜厚を塗布できるようにした。これにより、アルミタンクの塗装能力は約2倍に向上した。

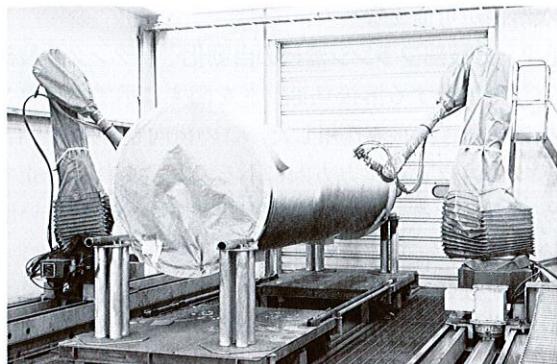


図6. 塗装ロボット タンクの両側に配置した2台の6軸塗装ロボットに、ペテランの技能を取り込み、高速高品質塗装を可能にした。
Painting robot

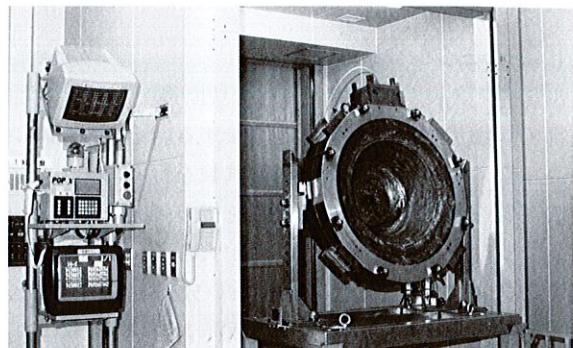


図8. 絶縁スペーサーの注型 予熱された型が真空タンクに入り、樹脂が注入される。
Insulating spacer mold

3 クローズドプロセス採用の新注型ライン

絶縁スペーサーの需要増加に対し高品質の製品の安定供給を果たすため、直径1,000mm以下の専用注型ラインを新設した。このラインは、自動化設備を導入して生産性の向上を図るとともに、注型樹脂材料の仕込み／混合工程のすべてをクローズド化し、人間が介在しないようにして異物の混入防止を徹底した。なお、このラインの新設にあたっては注型条件を解析技術で再チェックし、高品質の絶縁物が注型される最適条件を求め、実注型で確認した。図7に樹脂混合から注型、一次硬化、離型、二次硬化までの工程を示す。

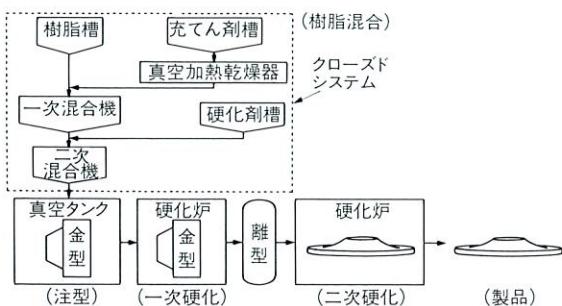


図7. エポキシ樹脂注型プロセス 材料の混合プロセスをクローズド化し、異物の混入防止を徹底した。

Epoxy resin casting process

各種の絶縁スペーサーは、型組・予熱・材料混合・注型・硬化・離型・二次硬化・徐冷の各製造条件が図面番号ごとにデータベースとして入力されている。生産計画に従って製造指示がインプットされると、前日から材料の混合、型の予熱が自動的に準備される。当日朝には図8に示すように予熱された型が真空タンクに入り、注型が開始される。

なお、注型後の作業では工程ごとに上述のデータベースから製造条件が各設備に自動的に設定され、管理値外での作業はできないようになっている。

これまでの長年の経験をデータベース化し、混合・移送系を自動化することにより生産性の向上と大幅な省人化を達成した。さらに、各工程の製造履歴は一品ごとに自動収集され、監視・記録作業が皆無となるペンレスショップを実現した。

4 あとがき

21世紀をにらんだGIS機種開発には、ユーザーニーズを織り込んだ技術革新が不可欠である。これを高品質で経済性のある“物”として実現するためには、製造技術とともに呼応するように改革していく必要がある。今後とも、メーカーの原点は“物づくり”であり、この精神を大切にしてユーザーに信頼される製品を提供していく所存である。

下川原 直明 SHIMOKAWARA Naoaki

浜川崎工場 開閉装置部主幹。
GISの開発設計、製造技術開発に従事。電気学会員。
Hamakawasaki Works

本多 啓三 HONDA Keizoh, D.Eng.

エネルギー事業本部 エネルギー技術管理部グループ長、工博。重電機器の接続・接合技術開発に従事後、現職。接続学会員。
Energy Systems Group

岡本 保雅 OKAMOTO Yasumasa

浜川崎工場 注形部品部課長。
注型絶縁物の開発に従事。
Hamakawasaki Works