アーク溶接　第 282 話　「溶接技術だより」の執筆を振り返って（3/3）　　高木柳平

いよいよ執筆内容の振り返りも最終回を迎えました。残された振り返りの主なものは以下の二つ。

１）溶接学会 50 年史；回顧録など抜粋したもの

２）最近の溶接機とその進展；　2000 年以降溶接機器の進歩・溶接電源とその歩み

１）「ナストーア５０年史」・「大阪変圧器５０年史」および「溶接学会 50 年史；回顧録など」抜粋

ここでは第 204 話の「**TIG 溶接とその歩み**」のなかで筆者が名古屋大学工学部金属科を卒業し、就職した東亜精機㈱に関連し，東亜精機㈱がその後ナストーア(株)になった折「**ナストーア 50 年史**」が出版され，その中に TIG 溶接機を含め貴重な歩みが記されていた。さらに戦後の復興期から昭和 40~50 年代にかけてアーク溶接全般に力を発揮された「**大阪変圧器(株)**（現 **㈱ダイヘン**）**の 50 年史**」および**溶接学会創立５０周年記念号**として編纂された「**溶接学会 50 年史**」を含めて，TIG 溶接の歩みのなかで引用・抜粋して振り返っています。

詳しくは，それらを参考にして頂きたいのですが，ここで強調しておきたいことは，過去の先輩諸氏が歩んだ道，苦労された話に静かに聴き入って参考にしながら現在を，明日に向かって進むという考え方に立っていただきたいと思うからです。自社の溶接，溶接技術，溶接製品へのかかわりも先輩に良く聴くことによって，導入時の苦労，モノにしたときの喜びなど聞き出そうとすれば大変多くありそうで貴重なモノになるはずです。参考にして頂ければありがたいです。

２）2000 年以降の溶接機器の進歩・溶接電源とその歩み

1980 年代のはじめにインバータ技術が溶接電源に採用され，サイリスタ電源から離陸しました。1990 年代を経過して 2000 年代に入ると急速にデジタルインバータ電源として高速・低スパッタ電源として成長，進展しました。

筆者は 2000 年代の初めに大同特殊鋼を退職し，その後の溶接機器の進展には深く関わることはなかったので，現状までの進展経過につきましては溶接学会誌・溶接技術誌を参考にさせて頂きながら，かつその中身は大阪大学をはじめ諸先生方の貴重な学術論文および機器メーカとして(株)ダイヘンおよびパナソニック(株)執筆論文を参考にさせて頂きながら，現状把握に精一杯努めさせていただきました。

正直，制御関係についてはわからないことばかりですし，溶接技術を支える検査・測定機器については 1980 年代が現役ピークであった筆者にとっては新しいものばかりで，新機能の開発機器が大幅に導入されていることに驚かされました。

2000 年以降のアーク溶接電源のダイヘン殿，パナソニック殿執筆論文の目次と概要の一覧を表 282-3 に示します。ダイヘン殿では 2000 年代には DP-350，DL-350 機などで低スパッタ，低入熱制御，高速溶接などデジタル技術を蓄積しながら，2010 年代に入って「Welbee」溶接機として急速な進展を遂げられ，成果を結実されています。一方，パナソニック殿は，2004 年に溶接電源融合型ロボット「TAWERS」による船出を致し，デジタル電源の急速な進展と相まって電流波形制御を高速･低スパッタ化し，SP-MAG, HD-Pulse, MTS-CO2，HEAT 工法さらには Active TAWERS へと次々に新技術を進展させ，低スパッタ・高速溶接化を達成されています。

詳細は表 282-3 およびそれらの参考文献に譲ることとして，デジタル機器の急速な進歩が続く限り、かつ光学系を含めたアークへの探究が続く限り「アーク溶接技術」が進展しないはずはありません。

以上を持ちまして，本「溶接技術だより」の振り返りを含め完了とさせて頂きます。　　筆者。

表 282-3　最近の CO2・マグ溶接機の進展と溶接機主要メーカ殿の執筆概要，目次一覧

話 NO.	アーク溶接電源およびその関連記事のタイトル	備 考；代表的用語，製品名など
２４８	執筆再開にあたって，溶接電源とその思い出	筆者のパルスアーク溶接の安定性における 思い出を記載。
２４９	溶接電源とその歩み（１）／ ＝ダイヘン殿文献 D-1 より引用＝	山本英幸氏レビュー＆トレンドアーク溶接電源 －溶接アーク現象の制御とその進歩－ 溶接学会誌　第 66 巻(1997) 第 8 号 P49~56
２５０	溶接電源とその歩み（２）／ ＝ダイヘン殿文献 D-1 より引用＝	同上文献より引用 1990 年代後半のショートアーク溶接による波形制御 および パルス電源によるマグ／ミグ溶接法など
２５１	溶接電源とその歩み（３）／ ＝ダイヘン殿文献 D-1 より引用＝	＊同上文献より引用，前話より続く ＊交流パルスミグ溶接法を追求，さらに交流／直流複合 制御へ進展させる。 ＊交流ティグ溶接の波形制御性の改善
２５２	ダイヘン殿執筆文献の一覧とその主な目次 （1997－2017 年）溶学誌・溶技誌より ダイヘン殿掲載文献を D-1～D-２０と番号を付す	＊ダイヘン殿執筆の溶学誌，溶技誌掲載の論文目次 ・デジタル制御機の進展（DP-350，DL350） ・ＣＢＴ法の開発，送給装置のデジタル化 ・交流 GWA，ティグアークの進展 ・デジタル制御機の進展（Welbee 電源の開発） － CBT-EX 法などへの適用 ・亜鉛めっき鋼板の溶接（含む解説） ・シンクロフィード GMA 溶接法の開発 ・D-Arc 溶接法，溶接のＩｏＴとその取組みなど
２５３	パナソニック殿執筆文献一覧と主な目次 （2001－2017 年）溶学誌・溶技誌より パナソニック殿掲載文献を Ｐ-1～Ｐ-１０と番号を付す	＊パナソニック殿執筆の溶学誌，溶技誌掲載論文目次 ・電源からのデジタル化＝＝再現性 100%など ・溶接電源融合型ロボット「TAWERS」とその船出 波形制御とその進化; SP-MAG，HD-Pulse，MTS-CO2，HEAT 工法 ＊Active TAWERS ＝正送・逆送を繰り返す高精度なワイヤ送給制御 ＊亜鉛めっき鋼板溶接；「TAWERS Zi-Tech」の開発
２５３ -2	三田常夫氏 執筆文献一覧と主な目次 （2000－2017 年）溶学誌・溶技誌	＊21 世紀の溶接施工技術の展開：溶学誌 2000/3 月 ・アーク溶接電源の開発経過，CO2 波形制御 パルスマグ・ミグ，ティグ溶接の電流波形制御など
２５４	溶接電源からのデジタル化へのアプローチ（１） ＝＝パナソニック殿文献 P-1 より引用＝＝	＊溶接電源のデジタル化への取組みと意義 ① 再現性１００％， ② ロータリエンコーダによる条件設定
２５５	溶接電源からのデジタル化へのアプローチ (2) ＝＝パナソニック殿文献 P-1 より引用＝＝	＊CO2／マグ溶接機におけるフルデジタル制御 ・再現性１００％の実行は処理の高速化が必須条件 → ３２bit RISC-CPU により実現 ・デジタルフィーダの実現 → １次電圧変動によるワイヤ送給量変化を±0.2% まで抑えること可能　など。
２５６	溶接電源からのデジタル化へのアプローチ (3) ＝＝パナソニック殿文献 P-1 より引用＝＝	＊フルデジタル CO2／マグ溶接機の特長 ・短絡時の波形特性を改善；di/dt をアップ ・デジタルフィーダの良好な制御が溶接の安定性を助長 ・アークスタート性の改良 ① スタート時の短絡電流を伸ばす ② モータ回転に応じた電圧出力 ③ アーク終了処理にある→先端球の均一処理など
２５７	溶学誌，溶技誌にみる電源メーカ２社殿の 執筆論文の概要紹介	ダイヘン殿掲載文献の D-2~D-17 を類似毎に グループ分け。分類 NO．ＧＤ１～ＧＤ８ パナソニック殿掲載文献の P-2～P-9 を類似毎に グループ分け。分類 NO．ＧＰ１～ＧＰ５
２５８	グループＧＤ１の紹介／ ＝アーク溶接電源のデジタル制御化＝	＊直流パルスミグ・マグ溶接機「ＤＰ-３５０」 ① 主回路インバータ；40kHz，② ３２bit ﾏｲｺﾝ制御， ③ デジタルリモコン，④ デジタルフィーダ ⑤インテリジェントフィルタによるアーク長情報の抽出 ⑥ アーク長情報電圧を外部特性によるアーク長制御に適用 ＊薄板低入熱・低スパッタ溶接機「ＤＬ-３５０」 ・ＣＢＴ（Controlled Bridge Transfer）法の開発 ＊デジタルパルス溶接電源「ＤＰ－４００Ｒ」

２５９	グループＧＤ２の紹介 ＝アーク溶接電源のデジタル制御化＝	＊アーク溶接電源の開発経過 ・1999 年~デジタル制御電源；出力制御のデジタル化 個体差・個人差排除，操作性・再現性・機能向上 ＊溶接電源のデジタル制御化とその必要性 ・2002 年~New デジタル制御電源 現象制御の高速化（ms 制御 ⇨ μｓ制御） 出力制御の作り込み ＊電源のデジタル制御化の具体例 ① 電子リアクトル制御，DAC 法，②インテリジェント フィルタによるアーク長対応 ③CBT 法　④ワイヤ送給 装置のデジタル制御化 ⑤リトラクトスタート制御 ＊電源デバイスの変遷 ・出力制御周波数；デジタル制御　80～100kHz ・32bit マイコン，DSP などを統合した FPGA が適用
２６０	グループＧＰ１の紹介／ ＝アーク溶接機とロボットの「融合」＝ ＝＝「TAWERS」による船出＝＝	＊電源はロボットとの融合による「TAWERS」として船出 ・2004 年 11 月「TAWERS」が Launching ① ハードウェアの構成；溶接制御カードは DSP を搭載など ② フルソフトウェア制御：溶接波形制御をすべてソフトウエアで行なう。10μ 秒の高速ループ処（１秒間に 10 万回） ③ リアクタレス制御 ④リフトスタート，リフトエンド機能 ⑤「オートエクステンション」機能など
２６１	グループＧＰ２の紹介／ ＝スパッタ低減の取組み＝ ＝＝進化の基本 SP-MAG 溶接法と ＨＤ-Ｐulse 溶接法＝＝	＊「スパッタ低減の取組み」 ① SP-MAG 溶接法 → ② HD-Pulse 溶接法 → ③ MTS-CO2 溶接法 ・進化の基本を SP-MAG 法とし，パルス溶接における HD-Pulse 法を併せて本話で紹介。
２６２	グループＧＰ３の紹介／ ＝スパッタ低減の取組み＝ ＝＝ＭＴＳ-ＣＯ２溶接法と 新入熱制御法；ＨＥＡＴ工法＝＝	＊「スパッタ低減の取組み」 ① CO2 溶接の中／高電流領域の高速・スパッタ抑制法 → MTS-CO2 溶接法－溶滴移行安定化制御 ② 新入熱制御法；ＨＥＡＴ工法の開発
２６３	グループＧＤ３（その１）の紹介／ ＝低入熱制御への取組み＝ ＝＝直流ＧＭＡ溶接電源による入熱制御＝＝	＊「低入熱制御への取組み」 ① 正極性溶接法；「DL-350」 ② EN-CBT 法；CBT によるスパッタ低減・低入熱溶接 ③ 極低電流パルスミグ溶接 補足；アーク安定化への考え方に関する記述あり。
２６４	正極性溶接法への思い出／ ＝＝ホットマグ溶接における正極性溶接関連資料の紹介＝＝	＊「筆者による正極性溶接法への思い出」 ・ホットマグ溶接法ではアーク安定領域が拡大できる。 ・但し，アーク力が弱く，油煙などによるフラツキ発生 ・なお，現状のデジタルインバータ式電源の併用に期待
２６５	グループＧＤ３（その２）の紹介 ＝低入熱制御への取組み＝ ＝＝交流ＧＭＡ溶接電源による入熱制御＝＝	＊「低入熱制御への取組み」 ① 低周波 AC マグ溶接・・AC-CBT 法 ② AC パルスミグ溶接
２６６	グループＧＤ４の紹介 ＝ティグ溶接機の進歩について＝ ＝＝溶接電流調整機能，正弦波パルス機能， 交流周波数制御など＝＝	＊「ティグ溶接機の進歩について」 ① 電流調整機能 ② 正弦波パルス機能・・アーク音の低減 ③ 交流周波数制御 ・溶接性改善 ・交流周波数調整に伴う出力電流低減の自動補正 ・ティグ溶接機による入熱制御／AC 周波数可変制御 ・交流周波数制御
２６７	パナソニックＧＰ４ ＝アクティブ溶接法（その１）＝	＊「アクティブワイヤ溶接法による CO2 スパッタ低減」 ・CO2 溶接におけるスパッタ発生要因 ① 低~高電流域すべてにおける「微小短絡」 ② 中~高電流域における「アーク反力」 ・アクティブワイヤ溶接法・・新ワイヤ送給制御 →「微小短絡」と「アーク反力」の両課題同時解決 〔アクティブ溶接の効果〕 ① スパッタ低減効果　②スタート時のスパッタ低減効果 ③トーチ姿勢に対する裕度向上 ④段差乗越え時などに起きる突出し長変化への裕度向上
２６８	パナソニックＧＰ４ ＝アクティブ溶接法（その２）＝	＊アクティブ溶接法の進化→スーパアクティブ溶接 ；高速溶接と低スパッタの両立が可能 ＊筆者があるユーザ殿でスーパアクティブ溶接機 による波形測定を実施した記録を紹介
２６９	パナソニックＧＰ４ ＝アクティブ溶接法（その３）＝	＊スーパアクティブ溶接機における波形の解析 ＊波形から読み取ったタイミングとワイヤ送給における 「正送」・「逆送」およびアークの主な状況に関するコメント （ 詳細略 ） ＊亜鉛めっき鋼板溶接も含め「溶接ナビ」を充実。

２７０	パナソニックＧＰ５ ＝亜鉛めっき鋼板の溶接＝	＊「TAWERS Zi-Tech」の開発・原理 ・亜鉛めっき鋼板溶接へのアクティブ溶接法の適用 ・共通の原理；継手ルート部上の溶融金属を押しのけ ルート部を露出させることで亜鉛蒸気を安定して排出 ■CO2 溶接・・・「TAWERS Zi-Active」 ■マグ溶接　・・・「TAWERS Zi-Pulse」 ・MAG（90:10）溶接／小粒化とアーク反力の確保 ＊亜鉛めっき鋼板溶接用の溶接ナビ
２７１	ダイヘンＧＤ５ ＝Welbee について知る＝	＊「最先端を行く Welbee に関する学習」 ① 溶接電源制御技術の進化 ・インバータ制御化　・デジタル制御化→デジタル演算素子 の進展など ・溶接制御専用エンジン「Welbee」の開発 →第４世代 2010～演算素子 ASIC 演算速度 20ns ② 新開発デジタルインバータ溶接電源 ・Welbee による高速・低スパッタ→ CBT-EX 法
２７２	ダイヘンＧＤ６ ＝電流波形制御とその進化を知る(1/2)＝	＊「電流波形制御とその進化」／その歩みと紹介 ① パルスマグ・ミグ→溶滴移行の安定化など ② CO2・マグにおけるスパッタ低減 → 黎明期に おける研究動向 ●海外動向　●国内動向など ＊国内の研究動向例；電磁ピンチ力による強制移行 と表面張力による橋絡移行として新たに分類 など
２７３	ダイヘンＧＤ６ ＝電流波形制御とその進化を知る(2/2)＝	＊続「電流波形制御とその進化」／その歩みと紹介 ② CO2・マグにおけるスパッタ低減 ・インバータ制御化によるスパッタ低減 ・デジタルインバータ制御化によるスパッタ低減 DAC 法／coldＡrc 法／Surface Tension Transfer 法 ／Ｊ-STAR 溶接法／CBT-EX 法
２７４ ２７５ ２７６ ２７７	ダイヘンＧＤ７ ＝亜鉛めっき鋼板の溶接（その１）＝ ダイヘンＧＤ７ ＝亜鉛めっき鋼板の溶接（その２）＝ ダイヘンＧＤ７ ＝亜鉛めっき鋼板の溶接（その３）＝ ＝亜鉛めっき鋼板の溶接における筆者コメント＝	＊ダイヘン殿の亜鉛めっき鋼板の溶接 取組み紹介 ・連載講座第１回 はじめに／亜鉛めっき鋼板の種類／亜鉛めっき 鋼板溶接のアーク施工／アーク溶接施工時のポイント ・連載講座第２回 ① 電流波形制御による気孔の抑制効果；低周波パルス法 ② ワイヤ送給同期式低周波重畳パルスマグ溶接法 ・連載講座第３回； ① 気孔発生のメカニズムと溶接材料の影響 ② 気孔欠陥の低減方法 ・アーク直下の露出が必要　・露出させるには溶融池 後方に　溶融金属を引っ張る表面張力を強くする およびアーク力を増加しアーク直下を押し下げる力 の増加が必要 ・連載講座第４回； ① シールドガスによる気孔低減 ② 電流波形制御による気孔低減;10~20Hz に効果範囲あり ③ 亜鉛めっき鋼板溶接のスパッタ低減 ・2 段パルスの適用および３０%CO2 条件で良好確認。 ・ワイヤの小径化（1.2Φ→1.0Φ） ＊ダイヘン殿論文の末尾に，本連載で紹介した気孔低減 方法がすべてではない。・・・・と記されていることに より，筆者の過去の亜鉛めっき鋼板溶接時のブローホー ル対策の事例を紹介させて頂いた。 ① Ar＋CO2＋O2 の３元系ガスの適用効果について ・・・詳細は本文を参照下さい。 ②ワイヤ径 1.0ｍｍに関する筆者コメントを記載。
２７８ ２７９	ダイヘンＧＤ８ ＝シンクロフィードＧＭＡ溶接法（２の１）＝ ダイヘンＧＤ８ ＝シンクロフィードＧＭＡ溶接法（２の２）＝	＊Ｄ社ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞにおける「シンクロフィード法」の概要； ① ホームページ動画でわかりやすく特徴と機能が説明され ている（ここでは詳細省略）。 ②本論文より ・ワイヤ送給同期による溶滴移行制御； 〔 特徴と課題 〕 〔開発溶接システムの構成〕；高過渡応答 AC サーボモータと それを制御するサーボドライバと平均ワイヤ送給速度を 一定にする制御と，低スパッタ性能・深溶け込みを確保の 電流波形制御法を開発。 〔Pulsed Dip Transfer Process 以下ＰＤＴ法〕の適用： 短絡を検出するとワイヤ送給を逆転し，ワイヤの反転状況に 応じて最適な短絡解除電流を通電。アーク再点弧を促す。 〔Buffer Position Control BP 制御〕；平均ワイヤ送給速度が 一定となるように最適制御 → ワイヤの干渉の最小化 ＊筆者の感想； ① 電流とワイヤ送給の高速同期を最大１００Hz で達成。 ② 究極の低スパッタテクノロジー。 ③ 本工法は，200A 以上で溶着量がアップする特徴をもつ。 ④ ＢＰ制御によって単位長さ当たりの溶着量の変化なし。