

6 | おわりに

産業革命発祥の地英国で1807年に発見されたアークは、1885年のベナードスによる炭素アーク溶接の発明、1892年のスラビアノフによる金属アーク溶接法の発明、1907年のチェルベルヒによる被覆アーク溶接棒の発明などを経て、金属を接合する溶接の重要な熱源としての適用範囲を拡大してきた。そして現在では、アークを熱源とする種々なアーク溶接法は、今日の工業製品の製造では欠くことのできない重要な加工技術となっている。

わが国にアーク溶接が導入されたのは1914（大正3）年であるが、製造メーカーと溶接機器・溶接材料メーカーとが一体化した研究・開発によって、その後の100年間でわが国のアーク溶接技術は大きく発展し、近年では、世界の溶接界をリードする主要国としての立場を確立している。このようなアーク溶接技術の進歩は、第2次世界大戦の終戦までは主に軍部がけん引し、終戦後の約30年間は造船などの重厚長大産業が、そしてその後は自動車などの薄板溶接分野が先駆的な役割を果たしてきたと思われる。

本報告では、このようなアーク溶接技術の発展経過について述べてきた。その主な内容を溶接プロセス、溶接電源および溶接材料に分けて整理すると、それぞれ図6.1～6.3のようである。日華事変（1937（昭和12）年）から第2次世界大戦（1941（昭和16）～1945（昭和20）年）と続く軍事優先期の停滞によって、戦後の1947（昭和22）当時、わが国の溶接技術は欧米諸国に比べ30年は遅れているといわれていた。しかし、その後の継続的な研究・開発によって、わが国が世界に先駆けて開発したグラビティ溶接法・片面裏波溶接法・サイリスタ制御溶接電源・裏波溶接棒・チタニア系細系フラックス入りワイヤなどのアーク溶接技術が、1960年代後半頃から次々に登場するようになった。そして1980年以降、電流波形制御による新しいガスシールドアーク溶接プロセスの開発は、欧米諸国を圧倒するようになったといっても過言ではない。このような技術開発には、高性能な国産パワー半導体の存在と、わが国の商用電源電圧が欧米諸国（400±20V）より低い電圧（200V）であったことが大きく寄与したと思われる。すなわち、入力電圧が400V級であれば耐圧600V程度以上のパワー半導体が必要となるが、入力電圧が200Vであれば耐圧400V程度のパワー半導体を用いることができる。

鋼材の進歩や市場ニーズの変化などに呼応して、新しいアーク溶接手法やプロセスが次々に開発され、それらの溶接技術は各産業分野の合理化・コストダウンに大きく貢献してきた。近年では、船舶・橋梁分野で

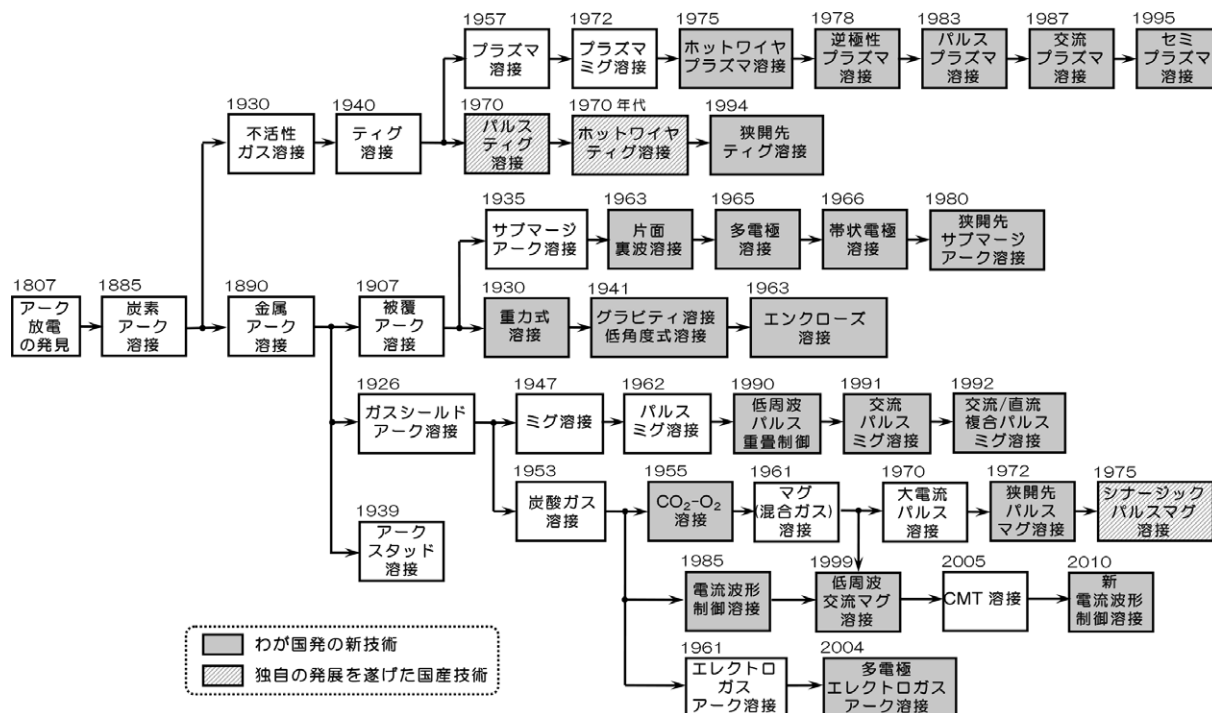


図 6.1 アーク溶接プロセスの発展経過

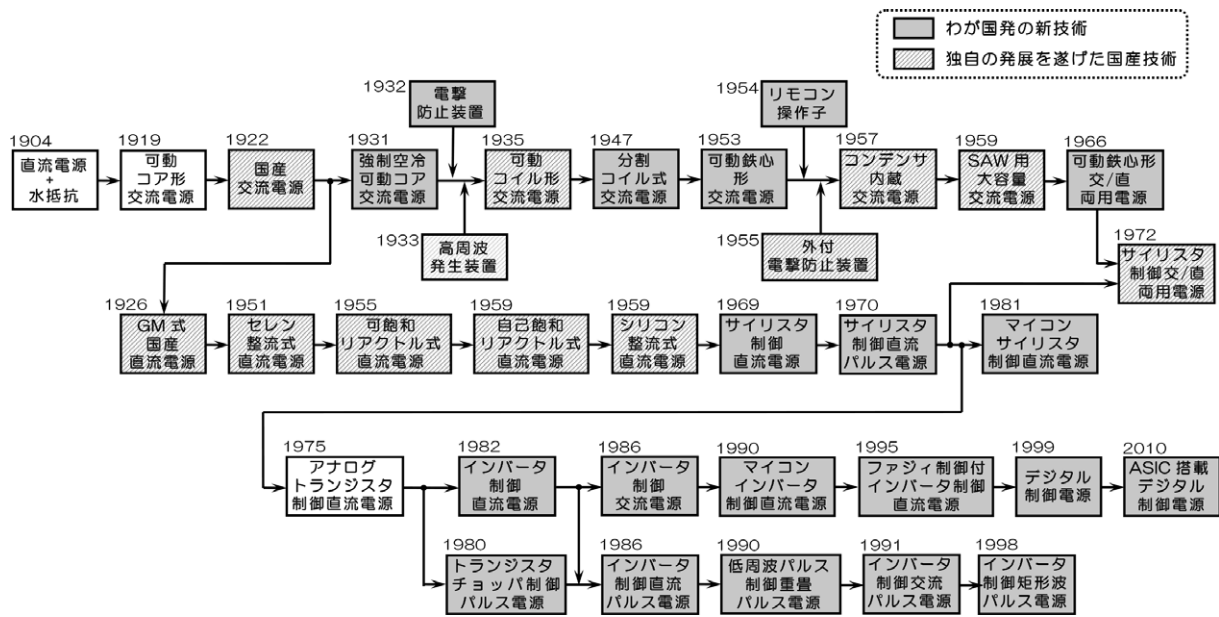


図 6.2 アーク溶接電源の発展経過

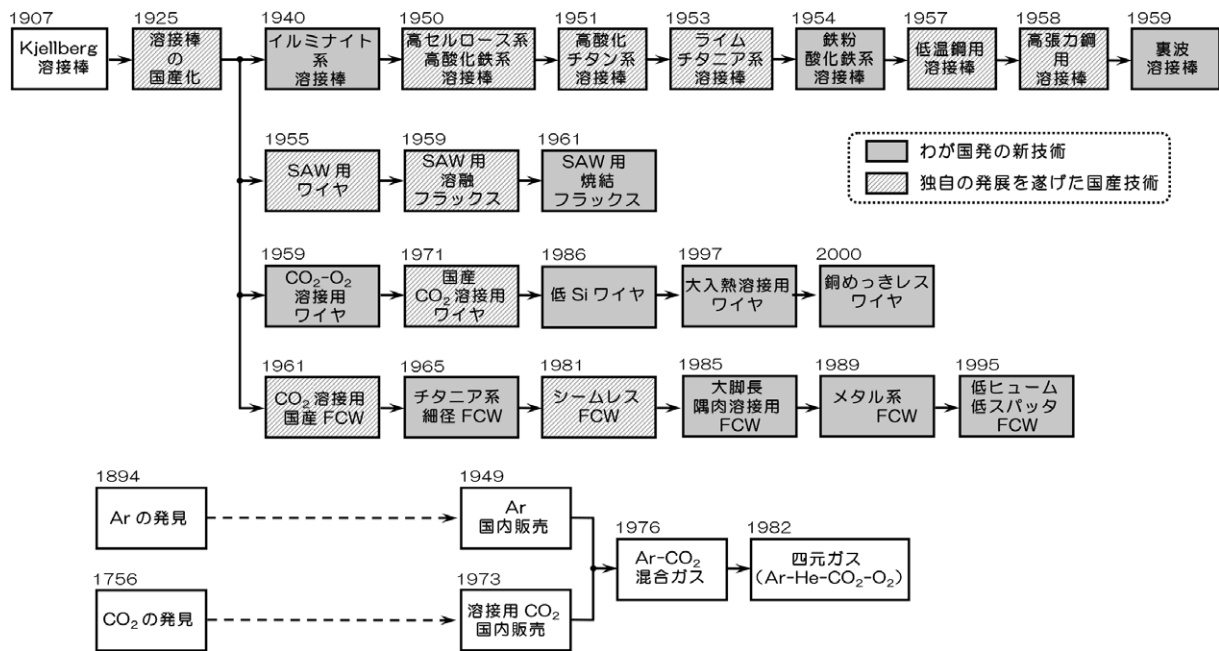


図 6.3 溶接材料の発展経過

の半自動・自動溶接化や自動車・建築鉄骨分野でのロボット溶接化の推進などに見られるように、消耗電極（溶接ワイヤ）を用いるマグ溶接がアーク溶接の主流となっている。またその溶接機器開発では、溶接電源単体の性能向上を目指した開発からワイヤ送給装置や溶接トーチを総合したシステムとしての性能向上へと開発目標が推移している。さらに、複数の溶接プロセスを複合したハイブリッド溶接システムの開発とその実用に向けた取組みも盛んに行われている。

しかしアーク溶接のさらなる進歩・発展には、アーク現象を主体とした溶接現象のより一層の理解が不可

欠の要素であり、今後その重要性はさらに増してくるものと思われる。また一方では、自動化の究極である無人溶接に向けた技術開発や、これまで困難とされてきた溶接技術を具現化する取組みも盛んに行われており、溶接電源・機器、溶接ワイヤならびにシールドガスそれぞれの機能・特性・特長を生かした総合的な技術開発がますます重要になるものと推察される。近年、コンピュータの性能が格段に向上し、複雑なアーク溶接現象をモデル化してシミュレーションすることによって、複雑に入り組んだ現象の理解を容易にする環境が整いつつある。また大学や研究所などでは、溶

接現象に関する様々なモデル化とシミュレーションの研究・開発が盛んに行われており、これらの成果を活用することによって次代を担うアーク溶接機器の開発をより一層加速することも可能になるであろうと思われる。一方では、電子制御技術の進歩に伴って溶接電源・機器の特性や機能が著しく改善され、電源の制御技術も大幅な進歩を遂げ、直流波形から交流波形まで、広範かつ複雑な電流・電圧波形制御も比較的容易に実現できるようになってきた。すなわち、従来はm秒オーダーで制御されていた出力を、 μ 秒さらにはn秒オーダーで制御できるようにすることも決して不可能ではなくなってきた。しかし、残念ながら、現状では必ずしも従来の出力波形制御手法を根本から覆すまでには至っていない。もう一歩踏み込んだ溶接プロ

セスの解析・開発などの積極的な推進によって、全く新しいプロセスおよび出力の制御手法・方法をどのようにして作り込むかが今後の重要な課題である。

本報告を作成するに当たり、資料の収集や情報の提供などで、西田順紀氏（元松下産業機器株式会社）、後藤康宏氏（松下溶接システム株式会社）、三木昭彦氏（株式会社神戸製鋼所）、菅哲男教授（大阪大学接合科学研究所）、須田一師氏（日鐵住金溶接工業株式会社）、神山誠宏氏（日本エア・リキード株式会社）、佐藤豊幸氏（太陽日酸株式会社）、松下和憲氏（ダイヘン溶接メカトロシステム株式会社）ならびに山内康義氏（産報出版株式会社）には、多大なご尽力をいただいた。深く感謝いたします。

アーク溶接技術に関する産業技術史資料の所在確認調査結果

番号	名称	製作年	製作者	資料の種類	資料の現況	所在地	資料の概要
1	進相コンデンサを内蔵した高力率型交流アーク溶接機 (型式名: LAW 型)	1957年 (S32年)	松下電器産業 (株)	量産品	展示 (公開)	パナソニック 溶接システム (株) :大阪府豊中市	低力率の交流アーク溶接機を、進相コンデンサを用いて高力率とした、わが国初の高力率可動鉄心形交流アーク溶接機。松下電器産業(現パナソニック)溶接システム)が溶接機の生産・販売を開始する契機となった溶接機でもある。展示品は、造船所で47年間実稼働していたもので、操作子を用いて出力を遠隔操作できるように改造されている。
2	トランジスタ式 直流溶接電源 (型式名: TR-800)	1980年 (S55年)	大阪変圧器 (株)	量産品	稼働中 (非公開)	(株)ダイヘン 六甲事業所 :兵庫県神戸市	英国のTWIで試作され、大阪変圧器が製品化したアナログ・トランジスタ制御の直流溶接電源。出力の外部特性を任意に設定できるとともに、急峻な電流変化が可能であることから、国内の主な大学・研究所および大手企業に導入され、電流波形制御や溶接プロセスの解析など、今日のアーク溶接技術発展に大きく貢献した。
3	トランジスタ・インバータ制御 CO ₂ /MAG溶接機 (型式名: YD-350HF)	1985年 (S60年)	松下産業機器 (株) 溶接機事業部	量産品	展示 (公開)	パナソニック 溶接システム (株) :大阪府豊中市	トランジスタ・インバータ制御を採用したわが国初のマグ溶接電源。従来直流リアクタの特性に頼っていた溶接電流の挙動を、電子回路で高速かつ任意に制御することによって、マグ溶接の特性を大幅に改善し、インバータ制御溶接電源の普及に大きく貢献した。今日の高性能能波形制御マグ溶接電源の端緒となった電源でもある。
4	フルデジタル 直流TIG溶接機 (型式名: YC-300BM1)	2000年 (H12年)	松下溶接 システム (株)	量産品	保存 (非公開)	パナソニック 溶接システム (株) :大阪府豊中市	溶接電源の制御に初めてデジタル制御を全面的に採用した直流デジタル溶接電源。前面パネルからボリウム類は全て排除され、ジョグダイヤルと呼ばれるパラメータを全て排除し、ジョグダイヤルや種々なパラメータを設定する方式が採用された。その後の各種デジタル制御電源では、この操作方法が踏襲されることとなった。

付表 アーク溶接技術開発のあゆみ

年代	一般事項	溶接プロセス	溶接電源	溶接材料
1800	アーク灯の開発 (1808) 発電機 (dynamo) の発明 (1832) わが国でのアーク灯設置 (1882) 日清戦争 (1894~1895)	アーク放電の発見 (1807) 炭素アーク溶接 (1885) 金属アーク溶接 (1890)		
1900	日露戦争 (1904~1905) 第1次世界大戦 (1914~1918) 日本電気溶接協会 (現溶接学会) 創立 (1926) 世界恐慌 (1929) ロンドン軍縮会議 (1930) 満州事変 (1931)	被覆アーク溶接 (1907) ガスシールドアーク溶接 (1926) 重力式溶接 (1930) 不活性ガス溶接 (1930) サブマージアーク溶接 (1935) アークスタッド溶接 (1939) ティグ溶接 (1940) グラビティ溶接・ 低角度式溶接 (1940) ミグ溶接 (1947)	可動コア形交流電源輸入 (1919) 国産交流電源 (1922) MG式国産直流電源 (1926) 強制空冷 可動コア形交流電源 (1931) 電撃防止装置内蔵電源 (1932) 高周波発生装置内蔵電源 (1933) 可動コイル形交流電源 (1935) 分割コイル式交流電源 (1947)	チェルベルヒ 被覆アーク溶接棒 (1907) クアシイ溶接棒 (1912) セルロース系溶接棒 (1918) 溶接棒の国産化 (1925) スタビレンド溶接棒 輸入開始 (1928) イルミナイト系溶接棒 (1940)

年代	一般事項	溶接プロセス	溶接電源	溶接材料
	ドッジラインの関示 (1949) 日本溶接協会設立 (1949)			アルゴン国内販売開始 (1949)
1950	朝鮮戦争 (1950~1953 休戦) 神武景気 (1955~1957) 岩戸景気 (1958~1961)	炭酸ガス溶接 (1953) CO ₂ -O ₂ 溶接 (1955) プラズマ溶接 (1957)	セレン整流式直流電源 (1951) 可動鉄心形交流電源 (1953) リモコン操作子 (1954) 外付電撃防止装置 (1955) 可飽和リアクトル式 直流電源 (1955) コンデンサ内蔵交流電源 (1957) 自己飽和リアクトル式 直流電源 (1959) サブマージアーク溶接用 大容量交流電源 (1959) シリコン整流式直流電源 (1959)	高セロース系・ 高酸化鉄系溶接棒 (1950) 高チタン系溶接棒 (1951) ライムチタニア系 溶接棒 (1953) 鉄粉酸化鉄系溶接棒 (1954) サブマージアーク 溶接用ワイヤ (1955) 低温鋼用溶接棒 (1957) 高張力鋼用溶接棒 (1958) CO ₂ -O ₂ 溶接用ワイヤ (1959) サブマージアーク溶接用 溶融フラックス (1959) 裏波溶接棒 (1959)
1960	東海道新幹線開通 (1964) いざなぎ景気 (1965~1970) 東名高速道路開通 (1969)	エレクトロガス アーク溶接 (1961) マグ (混合ガス) 溶接 (1961) エンクローズ溶接 (1963) 片面裏波溶接 (1963) 多電極溶接 (1965) 帯状電極 (バンドアーク) 溶接 (1966)	可動鉄心形 交流/直流両用電源 (1966) サイリスタ制御直流電源 (1969)	サブマージアーク溶接用 焼結フラックス (1961) チタニア系細径 フラックス入りワイヤ (1965)

	一般事項	溶接プロセス	溶接電源	溶接材料
1970	石油ショック (1973)	パルスティグ溶接 (1970) 大電流パルスマグ溶接 (1970) プラズマミグ溶接 (1972) 狭開先パルスマグ溶接 (1972) ホットワイヤ ティグ溶接 (197?) ホットワイヤ プラズマ溶接 (1975) シナージック パルスマグ溶接 (1975) 逆極性プラズマ溶接 (1978)	サイリスタ制御 直流パルス電源 (1970) サイリスタ制御 交流/直流両用電源 (1972)	国産・炭酸ガス溶接用 ワイヤ (1971) 炭酸ガス国内販売開始 (1973) Ar-CO ₂ 混合ガス 国内販売開始 (1976)
1980	イラン・イラク戦争 (1980~1988) チェルノブイリ 原発事故 (1986) 青函トンネル開通 (1988) ベルリンの壁崩壊 (1989)	狭開先サブマージ アーク溶接 (1980) パルスプラズマ溶接 (1983) 電流波形制御溶接 (1985) 交流プラズマ溶接 (1987)	トランジスタチョップ制御 直流パルス電源 (1980) マイコン・サイリスタ制御 直流パルス電源 (1981) インバータ制御直流電源 (1982) インバータ制御 直流パルス電源 (1986) インバータ制御交流電源 (1986)	シームレス フラックス入りワイヤ (1981) Ar-He-CO ₂ -O ₂ 四元系混合ガス (1982) 大脚長すみ肉溶接用 フラックス入りワイヤ (1985) パルスマグ溶接用 低Siワイヤ (1986) メタル系フラックス入り ワイヤ (1989)

	一般事項	溶接プロセス	溶接電源	溶接材料
1990	<p>バブル経済崩壊 (1991)</p> <p>ソビエト連邦崩壊 (1991)</p> <p>関西国際空港開港 (1994)</p> <p>阪神淡路大震災 (1995)</p> <p>欧州単一通貨 (ユーロ) の発足 (1995)</p> <p>アキライン開通 (1997)</p> <p>明石海峡大橋開通 (1997)</p>	<p>低周波パルス 重畳制御 (1990)</p> <p>交流パルスミグ溶接 (1991)</p> <p>交流/直流 複合パルスミグ溶接 (1992)</p> <p>狭開先ティグ溶接 (1994)</p> <p>セミアズマ溶接 (1995)</p> <p>低周波交流マグ溶接 (1999)</p>	<p>マイコン・インバータ制御 直流電源 (1990)</p> <p>低周波パルス重畳 直流パルス電源 (1990)</p> <p>インバータ制御 交流パルス電源 (1991)</p> <p>ファジィ制御付 インバータ制御直流電源 (1995)</p> <p>インバータ制御 矩形波パルス電源 (1998)</p> <p>デジタル制御電源 (1999)</p>	<p>低ヒューム・低スパッタ フラックス入りワイヤ (1995)</p> <p>大入熱溶接用ワイヤ (1997)</p>
2000		<p>多電極エレクトロガス アーク溶接 (2004)</p> <p>CMT 溶接 (2005)</p> <p>新電流波形制御溶接 (2010)</p>	<p>FPGA 搭載 デジタル制御電源 (2008)</p> <p>ASIC 搭載 デジタル制御電源 (2010)</p>	<p>銅めっきレスワイヤ (2000)</p>
<p>FPGA : Field Programmable Gate Array</p> <p>ASIC : Application Specific Integrated Circuit</p>				

本書は、「国立科学博物館 技術の系統化調査報告《第 23 集》」に掲載されているものです。

本書の著作権は、独立行政法人 国立科学博物館が有します。