



## 研究生活40年を振り返って

荒田吉明\*

月日の立つのは速いもので、大学入学以来約40年を経過した。私は昨年世間で言われる“還暦”を迎えたので、人生の第1軌道を回り終え、幸い第2軌道に“軟着陸”することが出来た。恐らく第3軌道を回るとは難しいと思われるので、この第2軌道は悔いの残らぬように味わって回りたいと思っている。

私は戦後すぐ阪大工学部溶接工学科の3期生として入学したが、卒業論文は“ユニオンメルト溶接法”に関するもので、これは近年サブマージ・アーク溶接法と呼ばれ色々の分野でよく活用されている。この方法はユニオンカーバイド社の開発したもので、それに因んで当時ユニオンメルト法と呼んでいた。装置が阪大に無く三菱電機伊丹製作所にあったので殆ど毎日そこで実験を行った。この成果は私が3年生の秋、学会で報告し溶接学会誌に掲載された。これは私の最初の研究発表で、強烈な印象として今でも昨日のように鮮明に記憶の中に残っている。私にとっては現在でも評価の残る論文の1つに加えており、この時の卒業研究は大きな収穫があったように思う。当時、名大教授であった故関口先生が開発された高 Mn-Si 系のいわゆる“関口芯線”が大同製鋼で試作され、これを私どもが卒業研究で初めてサブマージアーク溶接法に適用し、その有効性を実証して差上げたことも重要な成果の一つであった。現在でこそサブマージアークと呼んで溶接アークの一種となっているが、当時はその発生熱がまだアーク熱によるものか抵抗熱（ジュール熱）によるものか確定されていなかったため、この実証にも力を入れた。この外初めて連続アークの母材に与える圧力を測定し、これに“アーク

圧”あるいは“arc pressure”なる用語を命名した。これは現在でもよく用いられている。私は大学に入学以来放電現象に大変興味を覚えていたので、大学では専門学科の勉強もさることながら、それ以上に独学的にこの方面の勉強や真空管回路の勉学を一生懸命していたことを記憶している。

私がこの卒業研究を通じて得た最も大切なことは、後に私の生涯の研究動向の骨格になった“高エネルギー密度”の概念であった。そのときの印象はビード単位長あたりに与える溶接エネルギーが“一定”であるように、電流とともに溶接速度を増大させると、ビード幅は次第に狭く溶込みは深く、遂に切断現象に近づくことであった。このような状態では勿論溶接ビードは甚しく荒れて、溶接部としてはとても良質とは言えなかった。要約すれば溶込みは切断状態が現われるにつれて深くなるが、役に立つ溶接ビードは得られなかったということである。しかしここで切断状態の深い溶込みが得られたということは新鮮な驚きであった。そしてこの現象の基盤は「エネルギー密度」にあると推測し、色々その実証を試みた。とくに溶接棒の断面積が一定であれば丸棒よりは平板がよいと考え、色々なサイズのタンザク型断面の鋼材を溶接棒として使用してみたのである。ただ装置は丸棒の送給に都合よくできていて、くねくねしたタンザク型には適していなかったため、良好なビードが得られず、ギブアップしたのは今思っても残念なことである。

しかしこの概念は忘れられず、熱源としてアークではなく電子ビームがよいのではないかと推測し、当時私の指導教授であった岡田實先生と亡くなられた安藤弘平先生に御相談申し上げたが、ともに取り上げて頂けなかった。勿論この時取り上げられたとしても、戦後間もないとき

\*荒田吉明 (Yoshiaki ARATA), 大阪大学, 教授, 溶接工学研究所長, 溶接熱源・熱輸送第一部門・工学博士, 超高エネルギー密度熱原センター長

で、装置も費用も技術も無いわけであったから、頭脳プレイにに終り学部卒論の研究では実現は難しかったと思っている。これは1948年のことであった。しかしこの後大学院学生になって間もなく、実際にX線回折のための電子ビーム発生装置を自作し、電子ビームの発生に成功していたので、当初の執念通り続けておれば或いは電子ビーム溶接の最初の栄冠を戴いたかも知れないなどと、凡人の常であるが夢想することもあった。実際にはこの9年後の1957年フランスのストール博士によって実現された。彼はやはり25,000ボルト X線管球を改造し、陽極を核燃料エレメントとし、静電収束法によって高密度の電子ビームとし、初めてこの材料の溶接に成功した。また米国でもワイマンが独立的にほぼ同時に核燃料の高融点材料の溶接を行った。1870年クルックスが電子ビームは加熱に役立つと提案してから実に87年を経ている。しかし、この間何も行われなかったのではなく、テスラが光の発生法のため既に、電子ビームでカーボンを加熱し、またピラニーが1907年にX線管球を用いて高融点材料の溶解に成功したり、1948年にはスタイガーバルトが長焦点型の電子銃を開発して各種金属の穿孔・切断を行ったり、1953年にはシューマッハが大気中電子ビームの発生に成功するなど、ドイツを中心として欧米では電子ビーム溶接実用化の研究開発環境は十分すぎるほど整っていた筈で、ただ日本が戦中・戦後取り残されていたということである。こういうのを“伝統の違い”と言うのであろう。しかしストール博士が電子ビーム溶接法開発のため一生懸命になっていた頃、筆者は幸運にも当時我国の画期的記録になった160万アンペアに及ぶ大電流ピンチ放電の発生に成功し、超高温プラズマビームによる核融合研究を共同で行っていた。そしてこの超高温プラズマの別の新しい発生法として大電力パルス電子ビームを取り上げ、これを実現化するためトランストロン加速器を提案していた。そしてこのトランストロン開発の研究は、後に世界に先駆けた「熱源用大出力電子銃」の開発や、強収束電子ビーム熱源の本格的実用化の端緒になった、「超厚板材の大出力電子ビーム溶接法」を確立するための基盤となった。

勿論筆者にとっては幸いなことであったが、我国にとっても同様ではなかったかと心置きか自負している。そしてさらに好機が訪れた。それは電子ビームの開発研究と前後してマイマンによるルビレーザ(1960年)、続いてパテルによるCO<sub>2</sub>レーザ(1964年)の開発であった。筆者は直ちにルビレーザの研究を中止し、CO<sub>2</sub>レーザの大出力熱源化に照準を合わせ、本格的なCO<sub>2</sub>レーザ熱加工への端緒を開くことが出来、新しい分野の開拓にいささか貢献し得たことは誠に幸運なめぐり合わせであった。そしてさらに電子ビーム、レーザビーム、プラズマビーム或いはイオンビームのような強力なエネルギービームを統括して“超高エネルギー密度ビーム熱源”として捉え、共通した熱源特性や加工特性のあることを初めて提言し得たことは、人生の第1軌道を回り終えた時期と一致して感無量であった。

さて前にも述べたように、私の研究者としての基盤は大学3年の卒業研究のときに70~80%は出来上がったように思っている。パテントについてもこの3年生の夏休みに自分で書いて出したところ登録された。当時の指導教授はすでに述べたように、岡田・安藤両先生であったが、戦後間もないことでもあり、また助教授・助手などの直接関与する若い先生方もいなかったので、“我流”で研究を進めねばならないことが多かった。三菱電機には大変世話になったし、卒研の相棒は卒業後三菱重工に入った河合君であった。

大学院では研究室が枚方学舎にあり、枚方造兵衛機械工場跡であったから工作台が沢山あり、これを実験台や寝台に改造して1人で寝泊りしながら実験装置造りが忙しく、いつも就床は朝方近くであった。研究室は戦災にあったので、この当時は実際研究費や装置は殆ど何もなかった。幸い私は特別研究生であったので、講師待遇の給料があり、これは殆ど装置や研究費に費やした。宿泊は当然ながら無料であり、食糧は田舎の父が送ってくれていたので生活費は殆ど不要であった。そこで給料が出ると、直ちに日本橋へ直行し、払い下げ品などを買いあさって色々の装置を造った。たとえば当時日本

では最大出力の動電型・磁歪型の超音波の発生装置や水晶共振装置、超音波レーダなどを自作し、水とアルコール、水と油の溶液に与えたり、溶接棒や熔融金属に与えたりした。水とアルコールは飲料として“試飲”し、熔融金属に対する強力な超音波の作用効果については、金属学会に報告することが出来た。超音波レーダはいわゆる“レーダ装置”を改造して作ったが、日本ではまだ研究している人を知らなかった。私は固体と融液では音速が倍近く異なるので、金属の凝固区間の研究や金属の欠陥・組織の検出に有用ではないかと考えていた。世間では可成りあとで非破壊検査用として研究が進められたが、このとき私の興味の対象はすでに鋼のマルテンサイト問題に主力が移っていた。この当時のことはまだ鮮烈な思い出として浮んでくるが、研究生活には昼夜の区別はなかった。ただ日曜になると時間経過にくぎりをつける必要があると思ひ込んで、弁当持ちで一日中映画館に居たことを思い出す。従って、当時新聞の映画評論家よりも詳しいのではないかと吹聴して自慢していた。

さて大学院では当初溶接研究を離れ、実験物理分野の研究に憧れを持った。そこでまず上記の超音波装置の開発や、X線回折装置とか電子線回折装置・電子顕微鏡など物性研究のために必要な装置を作ることから始まった。私が自由に使えたものと言えば金属顕微鏡以外何もなかったもので、研究に必要なものは殆ど自分で作らざるを得なかった。現在から言えば、夢のまた夢のようなきびしい環境にあって、青春のエネルギーの殆どを注ぎ込んだと言っても過言ではないような気がしている。装置造りの“半生”であった。当時の指導教授は学部のと看と同じで岡田・安藤両先生（後に岡田先生のみ）であったが、今の学生のように直接相談相手になって指導して頂ける若い先生方や先輩があいにく誰もいなかったもので、何事も自分で考え、調達し、実行せざるを得ないという状況であった。前にも述べたように放電や電子ビームには学部学生時代から興味をもち、独学によってその知識だけは可成り持っていたように思う。そのため大学院に入学して間もなく製作した最初のX

線発生装置はガス放電型であり、X線の発見者レントゲンが開発した通りのものを設計し自作したが、今で言えばプラズマビームの発生法であった。このとき、真空排気系に必要な金属の油拡散ポンプも自分で設計し自作したのを用いた。ロータリポンプは中古品を購入したが、これが誤りであった。必要な真空がなかなか上がらず、自分で考えられる全てのリーク場所をチェックしたがだめであった。遂に半年かかって結局真空ポンプが悪い事が分った。この痛手は強烈であった。これで装置は絶対に頭から信用してはだめだという信仰のようなものが身についてしまって、実験装置は必ず自作するか、または購入しても自分で納得ゆくまで装置の原理を含めて調整検討するということが習性になった。この時のことが影響してか私の研究装置は購入するより殆ど自作のものが主体になってしまった。大学院生活3年にして助手に任官、直ちに岡田先生より卒研究生2名を依託され、大いに感謝し発奮した。「同行の志」としての初めての学生は樋口、今泉両君であった。樋口君は現在「承明会」の会長である。爾後毎年2、3名ずつ配属され研究成果は急速に進展し、毎年春秋の学会には2、3編ずつ発表が可能になった。有難いことであった。岡田先生の与えられた“自由な研究環境”は現在尚私の研究室で受けつぎ、生き続けているものと思っている。

すでに述べたように“装置造り”は助手任官後ますますピッチの度を速めた。例えば、電子線回折装置、電子顕微鏡（約1万5000倍）などを自作し、活用したことについてはすでに述べたが、さらに当時顕微鏡下での微細組織の硬度や結晶構造を知ることが困難であったので、顕微鏡とダイヤモンドをつけた電磁石を結合させた顕微鏡硬度計、顕微鏡と電子線回折装置を組み合わせた一種のMED装置などを造って使用した。また、焼戻鋼の $\sigma$ 及び $\chi$ 炭化物などの「真空型炭化物抽出装置」などは30年を経た今日でも尚最先端の方法と確信している。当時世界で初めての「交流型磁気分析装置」を開発することが出来たことは、当時の私にとっては“天の恵み”のような気がしている。これによってマルテンサイトの生成・分解過程を磁氣的

に解明することが極めて容易になって、私の学位論文の骨格を作ることを可能にしたからである。さらに直流型の強力な磁気分析装置や新しい大出力の強力なX線回折装置の開発に成功したが、これらもこの研究を進める上に大変役に立った。そして昭和30年頃私の研究方向に激変が起こった。当時私は鋼の焼入れ・焼戻しプロセスでのマルテンサイトの生成・分解に関連した学位論文を提出していた。この頃我国では岡田先生がヨーロッパでの学会から帰国されるや、いち早く核融合の重要性を世に訴えられていた。こう言うのを“先見の明”と言うのであろう。そこで私は助教になりたてであり、学位取得の直後であったから、新しい研究への夢を「核融合」に全て託することにした。そしてこれまでの研究分野と一切袂を分つ意味で、当時私の活躍場であった日本金属学会さえ脱会し、それまで私の活動分野としていた“物理冶金談話会”（会長西山善次先生）の幹事役（熱処理分科担当、この他塑性分科、磁性分科があり、それぞれの幹事役は後に京大工学部長をされた高村助教、東大物性研所長をされた吉田助教）を当時助手であった田村京大教授にバトンして去って行った。こう言うのを“若気の至り”と言うのであろう。痛恨事であった。後に10年後再び金属学会等に新しく入会し、お世話になることになった。このとき私のみならず、私のグループのまだ大学院生であった西口、丸尾両阪大教授、当時助手であった有安関大教授その他全員が従来の研究を完全に中止して核融合研究に集中することになった。そして新しい装置を次々に造り出し、私の生涯の研究動向の骨格となった「超高エネルギー密度熱源」問題の研究へと大きく“新しい道”を歩み始めた。我国の核融合実験の端緒になった大電流放電装置、トランストロン加速器に基づく大電流パルス電子ビーム発生装置、連続発生の電磁加速ユニットを用いた世界最大の大出力電子ビーム熱源装置、大気中電子ビーム装置、世界最初の大出力タンデム電子ビーム熱源装置、連続高出力のCO<sub>2</sub>レーザー熱源装置、大出力レーザー収束装置、超高密度のガストンネル型プラズマジェット装置、ジャイロトロンプラズマによる大出力

X線発生装置等現在に至るまで殆ど自分達で発明あるいは設計し、自作してきたものばかりである。これらの装置のあるものは、他の研究分野あるいは産業界で新しい分野の展開の原動力になったり、或はこれらの装置を用いたいろいろの適用実験の成果が、新しい「熱加工学」確立に基盤的な貢献をいささかなりとも果し得たことは大きな喜びであった。

このような成果の一部は国際溶接学会でのゴールドシュミット・クラームント金賞、ポーランド国家勲章やイタリア溶接学会特別記念号の出版或は米国金属学会より従来の研究の集大成したものを“本”として出版すること等に結実し、さらに今年の「日本学士院賞受賞」と結びついたことは大変幸いであり、大きな喜びであった。しかし、勿論これは私一人でなせるものではなく、世界に通用する多くの優れた共同研究者の助けによるものであった。一般に実験を伴う学術分野、特に工学分野での成果は多くの協力者による共同研究によって達成されるもので、私の場合もその通りであった。

稿を閉じるにあたって40年を振り返り、私の感じたことを二、三あげてみたいと思う。一つは研究者“育成”に関するものであり、他の一つは研究を進めるにあたっての“有り方”に関する問題である。前者について言えば、私の研究者としての素地の大部分は学部3年生のときの卒研を通じて確立したことを述べたが、現在で言えばこれは修士の卒論に対応していると思われる。このときの指導者の指導原理が極めて重要で、より優れた者に育成するにはどうあるべきかを学生の素質・性格をみて、的確な判断のもとに対応することであり、学生の得た成果は大いに顕彰し、問題点は熟慮させることである。自然に対しては共に「学究の徒」であるから討論にあたっては「同格」と心得、しかし指導性は豊かに発揮出来るようにしたいものであり、これを師としての“座右の銘”にしている。また後者については、たとえば工学系の場合について考えてみると共同研究が一般的であるから、協力システムあるいは協力分担の有り方を確立しなければならない。特に研究の目的を明確にし、世界の現状の把握と自分の研究の

位置付けをはっきりさせて、たえず創造性に富んだ研究にチャレンジすることが大切なことと思っている。そうでないと折角時間と労力をかけても世界に先駆けた良い論文とはならないだろうし、社会に寄与するところも少ないのではないかと考える。この点を最も自戒すべき点と心得、これを研究者としての“座右の銘”としている。

最後に私は研究生活40年を通じ学生時代より

現在に至るまで、一貫して恩師岡田實先生のたぐい稀な御指導を賜った。また、工学部特に溶接教室の諸先生方や永宮健夫先生・加藤金正先生を初め、その時々に応じて多くの方々より有益な示唆・御指導を頂戴した。また今井勇之進先生は私どもの研究を深く洞察され、研究の枠を拡げ、大きく前進させる勇気と夢を与えられた。ここに記して満腔の謝意を表わすものである。

