視 点

海外から見た日本の溶接技術

—国際活動の一層の振興を望む—

増 渕 興 —**

Japanese Welding Technology Seen from Overseas

—Suggestions for Increased
International Activities—

by Koichi Masubuchi

1. は し が き

昭和60年8月で第2次世界大戦が終結して以来40年になる。私はその翌年、昭和21年9月に東京大学第一工学部船舶工学科を卒業して溶接に関する研究生生活に入った。昭和33年12月から今日まで日本にいた1年間を除いてアメリカで生活している。最初の9年間はオハイオ州コロンバス市にあるバッテル記念研究所(Battelle Memorial Institute)にいたが、昭和43年9月以来マサチューセッツ工科大学(Massachusetts Institute of Technology)で教育及び研究に従事している。

2. 日本溶接技術の変遷

こんなことを書くとき若い人達は信用しないのかも知れないが、終戦当時の日本の溶接技術、特にその応用については当時の欧米先進国にかなり遅れたものであった。終戦後間もなく、未だ私が東京大学の大学院特別研究生であった頃のことと記憶しているが、マッカーサー司令部の招きで米国から造船技術調査団が来日した。そのメンバーに当時ニューヨーク造船会社社長でアメリカ溶接学会(American Welding Society)の会長もしたところのあるハリーピアース氏がいた。この調査団の報告会が東京で開催され私も同席したが、結論を要約すると次のようであった。

「その当時の日本の造船技術の水準を欧米先進国のそれと比較すると、殆どどの分野で大体同水準にあるが、極端な例外が一つある。それは溶接技術で、日本は造船における溶接技術で約20年遅れている。」

この結論は日本の造船、溶接関係者に大きな衝撃を与

え、溶接に関する研究の重要性が強く認識された。その後年を経るに従って日本の産業界も序々に復興し、溶接に関する研究機関も段々と整備、拡充された。幸い昭和35年頃には日本の船舶建造量は世界第一に達し、日本の溶接技術も大体先進国と同水準に達した。

その後石油危機などの困難を切り抜けて、現在は世界第二の工業国となった。溶接技術の面でも商船、自動車などの一般商品での応用を目的とした技術に関しては世界第一のレベルに達している。但し、軍事、宇宙開発などの特殊な高度技術に関しては、米国やソ連などに較べると産業自体の規模が非常に小さいので、関連した溶接技術の研究、開発も少い。一方造船業などでは韓国や台湾からの追い上げに会い苦労している。

極く最近になってトヨタ、日産などの日本自動車会社がアメリカで車の生産を始めた。これに伴って日本の多くの企業がアメリカで色々の活動(調査、販売、生産など)を行い始めている。また各会社の先端技術(人工知能、新材料、バイオテクノロジーなど)への関心が高まるにつれ、調査、研究などの活動をアメリカで行う傾向が出ている。これらに伴って溶接技術の海外との交流(輸入、輸出とも)が今後益々盛んになり、またその内容も多様化して来ると思う。

3. 日本の技術論文について

私が溶接学会の会員になってから約40年になるが、学会誌に掲載される論文の学問的レベルについては、ピアース氏が非常に遅れていると言った終戦直後の頃でも先進国の水準から遅れていたとは思われない。但し、溶接技術の開発及びその応用については遅れていたかと思う。

日本の論文で非常に良いと思う点は、外国も含め他の研究者の行った関連した研究成果をよく調査していることである。論文の始めに他の研究について言及しているし、結論についても自分の得た結果と他の研究者の結論とをよく比較している。外国の論文には、勿論研究者に

原稿受付 昭和60年8月6日

正 員 マサチューセッツ工科大学教授 Member,
Professor of Ocean Engineering and
Materials Science, Massachusetts
Institute of Technology, Cambridge,
Massachusetts, U.S.A.

よるか、自分の行った研究が中心で、独断的な結論を出しているものも間々ある。また日本の学会誌は色々のテーマについて世界で行われた研究をよく纏めた展望の記事を載せている。

その反面日本の研究論文には独創的なものが非常に少い。独創的な意見と言うものはそれが提案された時点では一般と異った少数意見である。革命的な危険思想と言えるものさえある。また新説であるためにそれを支持する裏付けも充分でない。従って独創的研究論文は内容的に頼りないことが間々ある。日本ではこうしたものをお願い切って論文として発表しようとする研究者も少く、また提出しても審査にパスしないのではないかと思う。

また日本の技術論文には新しい技術を如何に開発したかとか、新しい溶接構造物を如何に苦労して建造したかというような実的な内容のものが非常に少い。その結果学会誌が専門の研究者には役立つが、実務に携わっている技術者には縁が薄くなっている。もっとも他の学会誌に較べれば溶接学会誌はまだ良い方であると思うが。

4 日本の溶接技術の国際交流について

今日では自動車、テレビなど日本の工場で製造されたものが世界の隅々にまで使われるようになっている。勿論これは日本で製造されたものが外国産の商品に較べて良くて安いからで、溶接技術を含めた製造技術が大いに貢献していることは明白である。日本の溶接技術が秀れていることも世界で広く知られている。

それでは「日本製の溶接器具や材料が世界で広く使われているか?」「日本人の書いた溶接に関する論文が外国人の研究者にどの程度引用されているか?」或いは「日本人の溶接の研究者で世界中でよく知られている人はどの位いるか?」などを考えて見ると、残念乍ら極く限られている。要するに日本の溶接技術そのものの国際化はまだまだ進んでいない。

勿論今迄も色々の形で国際交流は行われて来た。例えば国際溶接会議(I.I.W.)は第2次大戦後ヨーロッパ諸国を中心に創設されたが、終戦間もなく外国との連絡の少なかった日本の溶接界が国際社会に出て行く上で重要な役割を果たした。また日本人の技術者も色々の形でI.I.W.の発展に貢献した。然しI.I.W.では何と言っても出席者の数が少い。毎年の年次大会の出席者は数百人で、分科会に分れているので、分科会に提出される論文のコピーは百部に達しないことが多い。Public sessionなどの全体会議に提出された場合は数百部に達し、Welding in the Worldという機関誌に掲載されれば部数はずっと増加する。

研究成果を世界的に知って貰うためには次のことが必要である。

(1) 自分で書いた研究論文が世界の隅々にまで行き渡って、而も何年にも亘って新しい研究者に入手し易い状態にあること。

(2) 自分の関係した研究分野について活発に研究を行っている主要な研究者と密接な交流を持つこと。

I.I.W.は第2の条件を充す上では非常に良い機関と考えてよい。然し、第1の条件を十分に満足しているとは言えない。一方アメリカの大きな学会は第1の点で圧倒的な強みを持っている。アメリカ溶接学会(A.W.S.)、アメリカ機械学会(ASME)、Offshore Technology Conferenceなどは大規模で、学会誌や論文集の発行部数は数万部、場合によっては十万部以上に達する。読者も世界の隅々にまで行き亘っている。

日本の学会、研究所、会社などで英文の刊行物を出している所は多数ある。勿論有った方が無いより良いに決まっているが、どれだけ実際に外国人に読まれ、利用されているかは検討の余地があると思う。公報活動は今後益々拡充する必要があるが、どんな方法をとったら良いかについてよく考えるべきである。

国際交流については非常に重要なことは教育である。アメリカの大学で教えていて特に感ずることは外国からの留学生が多いことである。この傾向は大学院に特に強く、工学系の博士課程では全米の学生の半数以上が外国人である。教授陣で言えば、M.I.T.の場合約30%が外国生れである。日本で大学の教授を永くしていると日本国中何処に行っても教え子がいるようになるが、アメリカの有名大学で永く教えていると、世界中どここの国に行っても卒業生に会うような感じがする。

技術交流は何と言っても人間同志の接触が肝心である。今後の日本の産業を考えた場合国際的に発展することが必要であり、そのためには技術的国際交流を振興することが大切である。それには日本の大学で受け入れる留学生を増加することも大切であるし、また外国の大学で教える日本人研究者が増加することが望ましい。

5 海外での溶接技術サービスについて

溶接学会の仕事ではないとは思いますが、海外での溶接技術に関する調査、研究、コンサルティングなどのサービスの拡充について簡単に言及して見たい。

最近日本企業の海外進出が非常に拡大している。現在既に日本は世界有数の資本輸出国であるが、今後益々増加するものと予想される。例えば、米国での日本車の生産は間もなく年間100万台を越すであろうと予想されてい

る。こうなると溶接に関連した多種多様の活動が世界中で起って来ると思う。

勿論海外活動の大部分は関係した日本企業と相手国の企業との合併で処理されると思う。然し、調査、研究など色々の面で企業外に依頼しなければならないことも当然増加する。こうした場合理想的な形としては現地の技術者と日本の技術者とが共同で作業をすることである。こうすれば現地の事情にも合い、日本の内情にも合った解決策が見つけれられると思う。

溶接に関連した事故を如何に処理するかも重要な仕事である。溶接構造物で外国に輸出されたものの数が最近では非常に多数となり、中にはかなり古くなって来たものもある。またその総数は今後益々増加する。その大部分は問題なく稼動するであろうが、一つも問題を起さないであろうと楽観することは極めて危険である。破壊事

故が起った場合、外国、特に米国では民事訴訟(稀には刑事訴訟のこともある)として法廷に持ち込まれることが多い。最近の傾向としては保償額が非常に多く、大きな構造物になると1,000億円位になることもある。原告、被告の双方が弁護士を通じて争うわけであるが、私のような中立の立場にある技術者が専門的な助言を行うことが多い。「転ばぬ先の杖」と昔から言われているが、こうした問題について事前に対策を立てる必要がある。

6. 結 言

日本産業の海外発展は今後益々盛んになり、また多様化するものと思う。紙数の関係で説明が不充分的点も多いが、気の付いたことを述べた次第である。特に若い研究者及び技術者に広い視野を持って遠い将来までを考えるようにして貰いたいものである。

外から見た溶接技術*

和田 次 康**

A View of Welding Technology from an Outside World*

by Tsuguyasu Wada**

表題の「外から見た溶接技術」は編集委員会のサジェスションにより選んだものであるが、日本を離れて16年になり、いまは60%は溶接以外に研究に従事している一溶接OBの意見として読んで頂ければ幸である。

1. アメリカの金属工業の現状

アメリカの一次金属工業は全体としては不振である。これはアメリカばかりでなく、先進工業国一般に云えることであろう。原因は外国、とくに開発度のより低い国との競合により、製品価格が低く抑えられているためである。鉄鋼についていえば、日本がはなばなしく鉄鋼生産国として登場したころは、日本はまだ中程度の開発国であった。今は日本も追われる身である。

非鉄金属工業のなかでも、アルミニウムだけはアメリ

カで比較的健全であるが、将来もこれが維持できるかどうか、楽観的な意見ばかりでない。

低加工度の製品についてアメリカの競走力が弱いのは明らかであるが、ある程度の技術を要する製品、たとえば压力容器、海洋油井用リグなども日本その他からの輸入がふえる傾向にあり、この程度の加工度の製品でもアメリカは外国との競合で苦しい立場にある。

一つのマイナス要因は投資設備関連産業の不振で、この分野は消費材にくらべて不況からの立ち直りが遅れるのが常であるが、今回の1982-83年不況からの立ち直りは通常よりも一段とおそい様である。とくにエネルギー産業、たとえば火力発電所などはこの傾向が強く、これはエネルギー消費の伸びが予想よりもおそいことも一つの原因である。火力発電所の新設は非常に減っており、原子力発電所の新規着工はおそらく皆無であろう。

その一方、既存設備の寿命を延ばして使おうとする努力がはらわれている。すでに長期間使用した設備があ

*原稿受付 昭和60年7月18日

**正 員 AMAX 材料研究センター Member,
AMAX Materials Research Center

何年使えるかを予測する方法—Residual Life Assessment—が大きな研究課題として浮び上ってきた。これについては、別に項をあらためて書きたいと思う。

3. 新技術の開発

溶接技術は鉄鋼、アルミニウムなどを材料とする在来型の工業、いわば「煙突から煙のでる工業」に密着して育ってきたが、これら在来型工業の将来はどうなるか、もし工業の重点がほかの新しい分野に移ることがあれば溶接技術の将来はどうなるか、といったことはわれわれにとって非常に関心のある所である。新しい工業材料、たとえばセラミックス、複合材料などの開発が盛んであるが、これを接合する方法はすぐにも必要な技術であり、研究が各所で進行中であることは御承知の通りである。また、ロボティクス、CAD/CAM など新しい製造技術、制御技術が溶接を含む工程に応用され、かなりの成果をあげている。これらはいずれも在来型溶接技術の発展または改善と考えられる。

新技術、とくに新素材の研究は一見はなやかである。研究は将来への投資であり、将来の技術競走に打ち勝つためには短期間の Return の期待できない研究も時には行わなければならない。研究が盛んであるからといって、その材料や技術が近い将来に旧い材料や技術にとって代ると考えるのは早計であろう。

一例をあげると、アルミニウム・マトリックス複合材料は金属マトリックス複合材料のなかではもっとも広く利用される可能性があり、研究も盛んであるが、現在のところ応用は航空機、宇宙船、軍事関係が大部分であり、これら以外への応用はトヨタ自動車のディーゼル・ピストンヘッドとテニスのラケットだけであると云われる。強化用繊維としては SiC、ボロン、アルミナ、カーボンなどが代表的なものであるが、このうち近い将来に大巾の供給増加したがって値下りが予想されるのはカーボン繊維で、現在 1 ポンド当り約 20 ドルが数年中に 1/3 以下になるとみられている。そうなれば乗用車などにも広く用いられる可能性があるが、それにしても車体軽量化の目的にはまだ高価すぎ、当分はピストンヘッド、コネクティングロッドなど可動部品への応用に限られるであろう。金属マトリックス複合材料は普通の金属材料にくらべて高い弾性強度、耐熱性などすぐれた性質があり、それを生かした特殊用途には欠くべからざるものと考えられる。しかし、たとえば長大橋の材料として理想的なものであろうが、経済性を考えるならば実現はかなり先のことになりそうである。

新材料、新技術がコスト低下、製品の高性能化に寄与

することは明らかであるが、在来型工業は本質としては変ることなく存続するであろうと筆者は考える。ただし、新しい工業国の台頭により、先進国の低付加価値産業は一段と苦しい立場になり、一つの国にだけ注目すると、産業構造の部分的な変化が起るかも知れない。企業間あるいは国と国との間の競走は厳しくなり、これに勝つ方法はコストの低下と質の向上という基本的な努力以外にはあるまい。生産性の高い、質のよい溶接技術をもつことはこの競走にとって重要なことであり、これは今後も変わらないであろう。

保守的な意見になったついでにもう一つつけ加えたい。先進国の国民消費水準は飽和的な状態にあり、近い将来に大きな飛躍は期待できない。現在はあるいは日本は例外かも知れないが一低生長の時代、節約の時代と云えそうである。物質的生活は保守的である。パーソナルコンピュータ産業が不振である一つの原因は、それが思ったより一般家庭にうけ入れられなかったためと云われているが、これはその一つの現れであろう。そのような時代には、新技術の開発が個人の生活に大きなインパクトを与えることはまずないであろう。重要な研究課題は生産性を増し、コストを下げ競争力を強化することで、いわば「次回の不景気時代を生きのびるための研究」ではないだろうか。

4. 新しい研究の課題

ここで「節約の時代」にふさわしいと思われる“Residual-Life Assessment”について簡単に紹介したい。

対象となる装置は今のところ火力発電所、石油精製装置など高温で使用される設備が主である。設計年数を経過した蒸気タービンなどを停止して点検してみると、ローターやローターディスクなどに小さなクラックが発見されることがある。クラック以外は全体としてまだ見えように見え、捨てるのは惜しい、このクラックが危険なまでに成長するには何年かゝるであろうか、推定する方法はないものか—Residual-Life Assessment と云うのはこんな発想から生れたものらしい。タービンローターの例ではクラックの成長は（低圧ローターであれば）疲労によると考えられるので、その部分に加えられている Stress と材料の特性から疲労クラックの進展速度を推定し、残在寿命が算出できる。ボイラ過熱管などでは破損の原因はクリープであることが多いので、クリープ破断時間の推定と、クリープクラックの進展速度が重要である。実際には問題はもっと複雑であり、雰囲気の化学的影響、たとえば酸化、水素脆化、あるいは材料の経年変化などのファクターが加わる。溶接部の取扱いも重要

な問題であり、とくにフェライト/オーステナイト鋼の異材継手は熱膨張係数の差による Stress などに特別の考慮が必要である。

実際の装置を点検して割れ等を検出する方法も開発されており、たとえば胃カメラのように光学ファイバーを用いた装置でボイラチューブ内部を観察することもでき、装置の表面を研磨してレプリカをとり、クリープボイドなどを検出する方法も報告されている。ASME の Pressure Vessels and Piping Conference は今年(1985年)の年會に“Residual-Life Assessment”のシンポジウムを開催し、そのプロシーデングスが出版されているので、興味のある方は参照されたい。〔文献1〕

その他の溶接に関連した研究の話題としては、アメリカ溶接研究所(American Welding Institute)が正式に発足して米国も多年の念願であった溶接の中央研究所をもつことになった。AWI は Knoxville, Tennessee に以前からあった TVA Singleton 材料研究所の建物の一部を用いて、American Welding Tehnology Application Center として1984年10月に発足したが、その後上記のように改名した。今年春には AWS とともに IIW の Member となることが承認された。今後の発展が期待される。

米国鉄鋼協会(AISI)が Oak Ridge, Argonne などの国立研究所に鉄鋼研究のため研究費を出すことになったのも一つのニュースであろう。DOE(エネルギー省)など国立の機関からの鉄鋼研究費は幾分頭うちの傾向があるので、AISI からの研究費はそれを補う意味もあると思われる。

軍事関係の材料の研究も相変わらず活潑であり、複合材料、航空機用チタン合金などが例としてあげられよう。チタン合金は鍛造品が多く用いられるが、切削加工は容易でなく、しかも7,80%は削りくづとなってしまうので材料の歩止りが悪い。そのため粉末冶金による Near-Net Shape Forming の研究が盛んである。EB 溶接などをこの分野にもっと広く用いる可能性はないものかと思うが、難しい点もあるようである。

軍艦に広く用いられる HY 80 は溶接の難かしいことで有名であったが、これの代替用高張力鋼板が採用されつつある。一つは ASTM A 710 鋼で、これは Cu-Ni-

Mo-Nb 系低 C 鋼でもともと Inco が As-rolled でパイプラインに使うため開発したものであるが、HY 80 代替鋼としては QT として耐力 80 ksi min として使う。その他マイクロアロイを含む高張力鋼が2,3検討されているようである。いずれも溶接性は HY 80 にくらべてはるかによい。

5. 日米関係ならびに結言

最後に日米関係について一寸述べたい。日米間のビジネスは増加の一途であり、日本の企業のアメ리카への進出は目ざましく、技術交流もますます盛になりつつある。しかし一般のアメ리카人の対日感情は決してよくない。古くからの日系人は最近の雰囲気は第二次世界大戦直前の雰囲気 に似ていると云う。今年の春のテレコミュニケーション機器規格および乗用車輸出自主規制の増枠をめぐる米議会の硬化は、一部の日本人には意外であった様である。しかし輸入規制の強硬論者はかなり多いのである。日本から短期に技術交流のため渡米される方々が不快な思いをすることはまずないであろうが、対日関係の実情については直視する必要がある。

「外からみた溶接技術」という題目で書き出してみたが、結局外からみたことにはならなかった様である。われわれはすべて煙の出る煙突をながめて暮す同じ種族なのであって、外からみることはできそうにない。ただし、技術が分化発達してくると、同じ種族でも異なった分野の現状を正確に理解していることが難しくなる。できるだけ多くの人々と接触して、新しい知識を身につけていたいものである。溶接学会はじめ学協会はこの知識交流の場を今一層提供して頂きたいと思う。そのような会合は質素なものでよい。われわれは知識を求めて出席するであるから、物質的な面で派手になる必要はない。今や「情報化の時代」であるとともに「節約の時代」なのである。

文 献

- 1) Proceedings of the 1985 Pressure Vessels and Piping Conference, "Residual-Life Assessment, Nondestructive Examination, and Nuclear Heat Exchanger Materials" PVP-Vol.98-1, ASME (1985).