

溶接・接合研究の41年を振り返って



随 筆

廣瀬明夫*

Looking back on my welding and joining research for 41 years

Key Words : Welding and joining, Weld cold cracking, Laser beam welding, Micro joining, Dissimilar materials joining

はじめに

筆者は1979年に大阪大学に入学して、学部、修士課程を経て、1981年に助手に採用されてから41年間大阪大学に勤務し、今年の3月末で定年退職致しました。学生時代を含めると47年間大阪大学で過ごしたことになり、大阪大学一筋の最も在籍期間の長いパターンになります。本誌の「随筆」に執筆依頼されて、テーマを色々考えましたが、丁度、退職直後ということもあり、何を書いてもいい「随筆」と言うこともあって、読者の皆様の興味はさておいて、筆者の大阪大学での研究生活を振り返ってみることにしました。

筆者は1979年に工学部溶接工学科に入学しましたが、溶接工学科を選択した理由は、溶接がものづくりの基盤技術であることと、大阪大学にしかないユニークな学科であることに魅力を感じたと記憶しています。以来、47年間に渡って溶接とそれに繋がる接合の分野に係わることになることは、当時は夢にも思いませんでしたが、それだけ筆者にとっては、「はまった」分野だったと言えるかもしれません。以下では、筆者が携わった研究テーマ別に振り返ってみたいと思います。

溶接低温割れ

筆者が、卒業論文、修士論文そして学位論文で対

象としたのが溶接低温割れの研究でした。当時の指導教員であった菊田米男教授の主要な研究テーマが、鉄鋼材料の水素脆化や溶接低温割れであったことが、学部、大学院での研究テーマ選択の大きな理由になります。一方で、溶接低温割れは、溶接時に雰囲気や溶接材料、溶接部に存在する水分が解離して生成する水素による材料の脆化現象であり、目に見えないし分析も難しい水素が材料の劣化を引き起こし、溶接割れという工業的に目に見える致命的な欠陥を引き起こすという現象に興味を引かれたこともあります。溶接の研究では、溶接によって生じる材料劣化、欠陥、割れを如何に防止するかということが重要であり、その原因解明のために、これらの劣化現象を精度良く再現することが求められます。従って、溶接研究では、逆説的ですが、如何にうまく溶接部を破壊するかが重要になります。筆者も卒業研究で、新たに開発した溶接低温割れ再現試験法で中々割れが再現できずに、大変苦労しました。4年生の12月になって、工夫した試験法で、初めて溶接部が低温割れで破壊したときには、大喜びしたのを覚えています。結局、学部4年生、大学院修士課程の2年間、そして助手での学位取得までの5年間（当時は助手に任官してから論文博士で学位を取得するのが珍しくありませんでした。）の合わせて8年間溶接低温割れの研究を致しました。



* Akio HIROSE

1956年6月生まれ
大阪大学大学院工学研究科溶接工学専攻
前期課程修了
現在、大阪大学 名誉教授、招へい教授
工学博士
専門／溶接・接合工学
TEL : 06-6879-4331
E-mail : hirose@mapse.eng.osaka-u.ac.jp

レーザー溶接

学位論文の研究を終えた後で、次の研究テーマをどうするかを考えました。学位取得後の研究テーマの選択に関しては、そのままライフワークにする人と、別のことをしたくなる人とがあると思いますが、私の場合は後者になります。その時に興味を持ったテーマの一つがレーザー溶接です。アーク溶接では熱源のエネルギー密度（単位面積、単位時間あたりの

投入エネルギー) がそれ程大きくないので、材料を沢山溶かして溶接することになりますが、レーザービームはアークの1000倍程度の大きなエネルギー密度を持っているので、あまり材料を溶かさずに所定の厚さの材料を溶接でき、アーク溶接に比べて材料の劣化を抑制できるメリットがあります。また、溶接工学科出身で文化勲章を受章された荒田吉明先生が日本のレーザー溶接の先駆者であり、当時の溶接工学科と溶接工学研究所(現接合科学研究所)に多くのレーザー溶接の研究者がおられたのも理由です。筆者の場合は、レーザー溶接のメリットを活かして、アーク溶接では溶接できないような材料を、レーザー溶接で溶接してみようと考えました。1990年代から2000年代の初めに掛けて、TiNi形状記憶合金、TiAl金属間化合物、SiC繊維強化Ti合金金属基複合材料、Ni基超合金単結晶など溶融溶接の適用が困難と考えられる難溶接性材料をレーザー溶接で溶接できることが分かり、大変面白く研究できました。図1にレーザー溶接したSiC繊維強化Ti合金金属基複合材料の断面を示しますが、Journal of Materials Scienceの1993年2月号の表紙写真になっています。もっとも、それ以外にも、実用材料としての

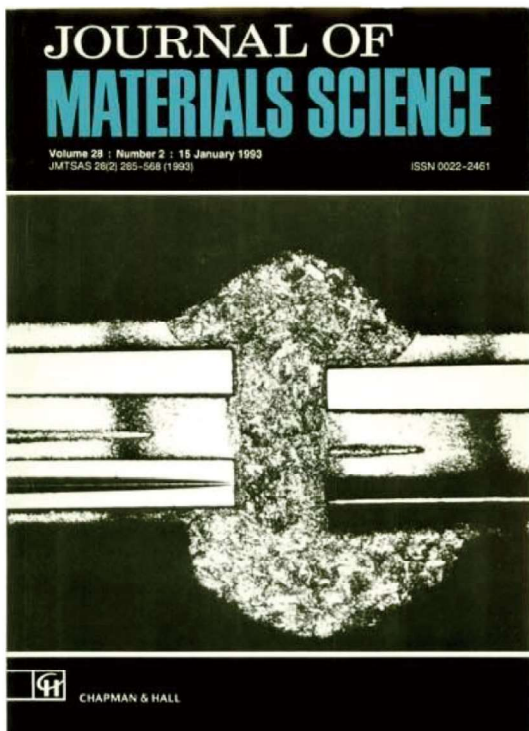


図1 レーザ溶接したSiC繊維強化Ti合金金属基複合材料 (Journal of Materials Science, 28 (1993), No.2の表紙写真)

自動車用のAl合金や鉄鋼材料のレーザー溶接も行いました。当時、自動車の製造にレーザー溶接が導入されてきたところで、企業との共同研究で実施しました。また、図2に例示するように²⁾、金属や合金粉末を使ってレーザー溶融により材料表面に合金層を積層するレーザークラッディングやレーザーアロイングも行いましたが、これらはその後のレーザー積層造形(Additive Manufacturing: AM)に繋がるプロセスになります。

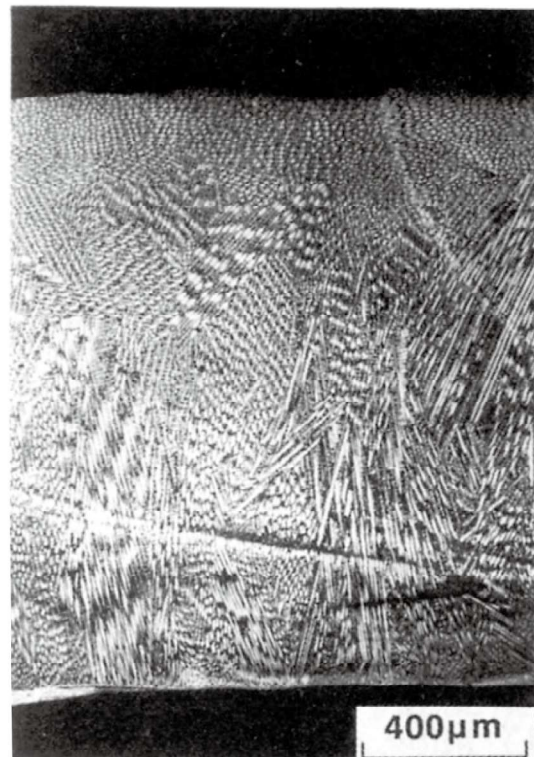


図2 軟鋼上へのNi-22Cr-10Al-1Y合金のレーザークラッディング

マイクロ接合

1990年代の中盤以降から、当時の研究室の主任教授であった小林紘二郎先生の勧めがあり、はんだ接合を初めとした、マイクロ接合の研究を開始しました。マイクロ接合とは、接合部のサイズがマイクロスケールで、主としてエレクトロニクス実装分野におけるはんだ接合などが対象とされています。当時は、2003年にEUで発令されたRoHS指令により、2006年7月1日からEUで販売されるエレクトロニクス製品に原則として鉛を含有することが禁止され、これまで、はんだ接合で主として用いられてきたSn-Pb共晶合金が使えなくなるために、鉛を含

まない鉛フリーはんだを開発することが急務となっていました。そこで、鉛フリーはんだの開発とその特性評価が産官学挙げて実施され、筆者の所属する研究室もこれに参加して研究を進めました。マイクロ接合は、それまでとは異なる研究分野でしたので、最初は専門用語や技術的背景も分からずに苦労しましたが、接合部の組織解析や材料学的な問題点は共通する部分も多く、接合部が微細な故に拡散や界面反応などの物理現象が直接接合部性能に影響する点が大変面白く感じました。国のプロジェクトや多くの企業との共同研究に携わって、我が国の鉛フリーはんだの開発に貢献できたことは良かったと思っています。特に、当時はまだ日本のエレクトロニクス産業が世界をリードしていた時代で、今と違って、各企業で実装技術に係わる研究者や技術者も大勢いて、活気や熱意に満ちていたことが今となって懐かしく感じられるのは少し寂しく思います。その後もマイクロ接合の研究は継続して、結局、筆者の41年間の研究生活の過半の主要な研究テーマとなりました。ここ10数年は、はんだ接合に替わる接合技術として、筆者らのグループで開発した、銀のナノ粒子を利用した低温焼結接合が主な研究テーマになっています。ナノ粒子は高い比表面エネルギーを有しているため、焼結温度が低く、はんだの接合温度に近い300℃程度で焼結接合が可能であり、接合後はバルク化した銀の融点まで溶融しない特性を有しています。このために、特に耐熱性を必要とするパワー半導体の実装技術として有効であり、現在では世界中で開発と実用化が進められています。筆者らはさらに銀や銅の酸化物の還元反応により、接合過

程でその場生成した銀や銅のナノ粒子を用いた接合法も開発しています。これについては、本誌の研究ノート³⁾でも紹介していますので参照して頂きたいと存じます。酸化銀の還元反応を利用した接合法では、金属以外に Al_2O_3 、 AlN などのセラミックス、 Si 、 SiC ⁴⁾(図3参照)などの半導体材料もメタライズなしで、大気中、低温接合が可能であり、新しい機構による接合技術として幅広い適用が期待できると考えています。

異材接合

2000年代に入ってから開始した研究テーマには、マイクロ接合以外に異材接合があります。それ以前にも、自動車用のAl合金や鉄鋼材料のレーザ溶接の研究は行っていましたが、この時期から自動車の軽量化ニーズが高まり、適材適所に材料を用いるマルチマテリアル車体構造が要望されるようになり、自動車分野では、Al合金と鋼の異材接合が必要とされるようになりました。Al合金と鋼を冶金的に接合しようとすると、両者の間に反応生成物である脆いFe-Al系の金属間化合物が形成してしまうために、その生成を抑制する必要があり、大変ハードルの高い接合になります。マイクロレベルでの基礎的な界面反応現象の解明と接合界面特性の評価に基づいて、マクロスケールの接合部の実用的な性能と信頼性を担保する必要があり、前述したマイクロ接合同様に溶接・接合研究者としては醍醐味の味わえる研究テーマでした。しかしながら、そのハードルの高さから、当時一般には、とても実用化可能な接合の達成は困難であると考えられていました。2002～2006年度(「自動車軽量化のためのアルミニウム合金高度加工・形成技術」プロジェクト)と2013～2022年度(「革新的新構造材料等研究開発」(ISMA)プロジェクト)の2度に亘る国のプロジェクトに参画して、20年近い研究の結果、抵抗スポット溶接および摩擦攪拌点接合を用いたAl合金と鋼の異材接合で実用化可能なレベルの接合強度の実現とその信頼性を担保するための強度発現機構の明確化と接合部性能の評価、予測技術の確立をほぼ達成することができました^{5,6)}。また、2013年度からのプロジェクトでは、新たな異材接合としてAl合金とCFRTPの接合についても、実用化可能なレベルの接合が達成できたと考えています。これら

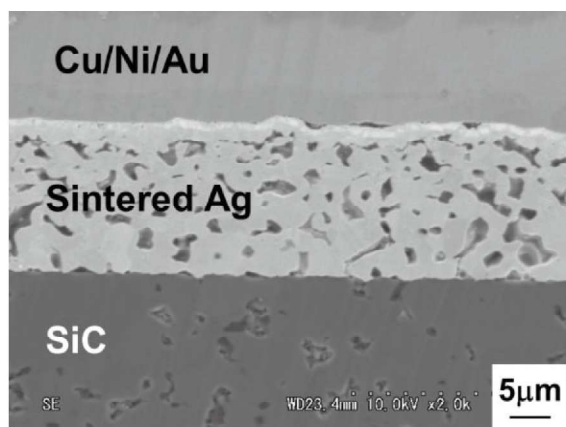


図3 酸化銀還元接合を用いたSiCと金メッキ銅試験片の接合部断面

の成果は、より高精度に制御が可能な接合技術の進歩と共に、ナノレベルの組織や特性の評価技術の開発が大きく貢献したと考えています。

おわりに

筆者の41年間の研究生活では、重工分野、自動車分野およびエレクトロニクス分野など様々な産業分野における溶接・接合技術を手がけてきました。これは、とりもなおさず溶接・接合技術が多くの産業分野でキーテクノロジーであることの証と言えます。また、各産業分野では、適用される溶接・接合プロセス、溶接・接合部のサイズや形態も大きく異なりますが、その性能を担保するためには、非平衡、非定常現象である溶接・接合過程の結果として生じる溶接・接合部の組織、特性を解析し制御することが必要とされるという共通の学術基盤があります。筆者もこの観点から一貫して研究に取り組んできました。溶接・接合研究は工学の中では最も産業应用到に近く、ものづくりに直結する学術分野であります。

筆者もまだ研究生活から完全に引退した訳ではありませんが、後進の研究者、技術者の皆様には、日本のものづくりを支える基盤技術として、今後も溶接・接合の研究で世界をリードして行って頂くことを期待し、本稿の結びとします。

参考文献

- 1) A. Hirose, Y. Matsuhiro, M. Kotoh, S. Fukumoto and K. F. Kobayashi, *Journal of Materials Science*, 28(1993), 349
- 2) A. Hirose and K. F. Kobayashi, *ISIJ International*, 35(1995), 757
- 3) 廣瀬明夫, *生産と技術*, 70(2018), 77
- 4) T. Matsuda, K. Inami, K. Motoyama, T. Sano, A. Hirose, *Scientific Reports*, 8(2018), No.10472, 1
- 5) 廣瀬明夫, *ふえらむ*, 25(2020), 554
- 6) 廣瀬明夫, *溶接技術*, 70(2022), No.5, 36

