



若者

## 接合—技術から工学へ

才田一幸\*

“接合”は生産技術の根幹をなす重要な分野であり、接合技術の進歩が技術革新の大きな担い手になったことは周知のごとくである。接合技術は単に物と物を結合させる技術だけではなく、その概念を拡張し様々な機能を有する材料および構造物も創製されている。さらに、現在では生体、医学分野においても接合が試みられている。そのため、“接合”という言葉が意味する領域は広く、その内容も多種多様となってきた。ここでは、接合の持っている意味を少し限定し、一般的な工業材料分野における接合について考えてみたい。工業材料の分野においては、従来より金属材料の溶接に代表される同種材料の接合技術の確立がさかんに行われてきた。しかし、昨今の多種多様な新素材の開発に伴ない、材料の機能性をより発揮させるためには、接合技術、特に、異種材料間の接合技術の確立が強く望まれている。

昭和60年頃、第2次石器時代の到来とも言われるほどセラミックスフィーバーが訪れた。多くの研究者たちがこの材料の魅力に取りつかれ、ファイン化へ向けての精力的な研究の結果、ファインセラミックスという従来のセラミックスより高性能な新素材が開発された。素材に対する研究熱が高まるうち、やはり材料の接合技術、特に金属との接合技術の必要性が強調され始めた。私がファインセラミックスと金属の接合を始めたのもちょうどその頃であった。

セラミックスという材料は非常に古くから陶磁器として用いられているが、元来、無機材料であり金属とは結合状態が異なるため、金属との接合は非常に困難とされてきた。しかし、長年に渡る研究者たちの飽くなき闘いの結果、い

くつかの接合技術の開発がなされ、その一部のものは現在実用段階にあるものもある。しかしながら、ファインセラミックスと金属の接合技術は電子工学の分野を除くとその実用例は極めて少ない状況である。これは、セラミックス素材に対する問題が大きな原因であるが、セラミックスと金属の接合技術の多くが、実用化への具体案が明確でない状況で研究開発が進められたことも見逃せない原因であると思う。このような状況を反映し、今やセラミックスと金属の接合研究の主力は、接合現象や接合機構の解明など基礎的な研究に移行してしまっている。

私が研究テーマとしたファインセラミックスは、耐熱構造用材料として注目されていた窒化珪素であり、特に、自動車産業においてエンジンやターボチャージャーなどのハイテク化の有力候補材料である。現在では実用化もなされているが、当初は熱機関の高効率化を目指した窒化珪素製のターボチャージャーのインペラーと金属製のシャフトの接合技術の開発が課題となった。この場合接合体は高強度、高信頼性、高耐熱性のみならず、生産性、経年変化などに対しても優れた特性が要求される。現在、これらすべての要求性能を満足するような接合技術は開発されておらず、その開発も極めて困難ではあるが、本接合では、これまで検討がなされてきた種々のセラミックスと金属の接合方法の中で、要求性能をある程度満足し、かつ、最も単純な接合方法のひとつである真空ろう付法を採用し、接合技術の確立をめざした。

異種材料間の接合で最も重要な問題となるのが、両者の結合様式の違いおよびそれに起因する材料物性の大きな相違である。ろう付法による窒化珪素と金属の接合においては、窒化珪素とろう材間の反応性（結合性）が最も重要な問題点となる。さらに、窒化珪素は熱膨張係数が

\*才田一幸 (Kazuyoshi SAIDA), 大阪大学工学部, 生産加工工学科, 助手, 工学修士, 溶接冶金学

非常に小さく、かつ、弾性率がかなり高いことから、接合時における熱膨張差に起因した大きな残留応力の発生も問題となる。幸い少量の活性な金属（Cr, Nb, V, Ti, Zrなど）と軟質な金属（Cu, Ag, Niなど）を合金化したろう材を用いることにより、これらの問題点をかなり解決することができ、単純な接合方法で当初の目標をほぼ達成できる接合技術を開発できた。接合技術の開発に伴ない、学問的な興味はむしろ接合現象や接合機構の解明などに向けられ、現時点では開発研究の色彩は褪せて基礎的な研究に力を注いでいる。

現在までの研究成果をまとめてみると、接合現象の基礎的な把握については金属学的な見地から調査を進め、異種材料間の界面には遷移層（反応層）が、接合部中には軟らかい熱応力緩衝層が形成していることを明らかにした。遷移層を構成する反応生成物に対して分析を行ない、窒化珪素と金属の反応性について熱力学的な考察を加えた。また、遷移層の成長挙動については反応速度論的取扱いを試み、窒化珪素と金属の接合機構解明への手掛りを得ることができた。一方、接合体の機械的特性を把握するために、力学的なアプローチを行ない、接合体中の残留応力状態をシュミレートした。さらには、接合体の破壊挙動に対して破壊力学の適用を試み、接合体強度の支配要因について定量的な評価を行なった。しかしながら、異種材料間の界面構造や接合体の信頼性評価に関しては、まだまだ未解明な事項が数多く残されており、接合現象の総括的な把握には至っていない。

このように、セラミックスと金属の接合に限っていても、接合現象をある程度系統的に把握しようとする、材料学や力学を初めとして多くの学問分野の知識が必要である。このことは、接合の分野が極めて境界分野的な性質を持つこ

とを示しているに他ならない。しかし、これまでの数多くの研究を再度見返すと、接合現象解明への道のりは徐々にではあるが見え始めたようである。

異種材料間の接合技術の開発は重要であるが、接合現象や接合機構を解明することは、単により高性能な接合技術を開発することのみならず、様々な分野において、異種材料の界面現象を把握する上できわめて重要な方向付けとなるだろう。このような意味からも、異種材料間の“接合技術”の開発を通して、接合現象や接合機構を系統的に把握し、接合に対してある統一的な思想を打ち出すこと、すなわち、“接合工学”の体系化が今後必要になると言える。接合プロセスや接合システムの最適化が可能になることや、種々の機能性を保ちながらも接合性に優れた材料の開発が可能になることも、接合工学の体系化の大きなメリットとなることは容易に想像できる。

このような接合工学を体系化する過程は、かつて金属材料を中心とした溶接技術が確立し、溶接工学として体系化された過程とよく類似しているが、対象としている材料や手法が非常に多様化していることを考えると、その道のりは必ずしも容易ではないと思われる。溶接工学の確立は接合における一つの分野を体系化したものと考えられるが、接合工学の体系化への動きはまだ始まったばかりと言ってよい。接合工学を体系化することは、接合技術そのものに対する指針となることは言うに及ばず、将来の新たな工学分野への展開の大きな足掛りとなり、その重要性はますます大きくなるものと確信している。

終わりに、本欄への執筆を勧めていただいた丸尾大先生に深く謝意を表します。