大学における展開

1 生産科学における溶接・接合研究の展開*

西 本 和 俊**

Research Trend on Welding and Joining in
Department of Manufacturing Science*

by Kazutoshi NISHIMOTO**

キーワード：生産科学，溶接，接合，大学院重点化，加工，生産システム，生産プロセス

1. はじめに

21世紀に向かって、地球規模で社会、経済、産業各分野において規範の転換が図られる中、我が国も欧米先進国を模範としてきた従来のキャッチアップ型技術立国からの科学技術創造立国への脱皮の必要性が強く叫ばれている。このような社会情勢下で、大学には創造性豊かで高度の専門知識をもつ人材の育成、もしくは新しい産業の基盤作りに寄与する先導的研究発信の場としての働きがこれまでもまして求められており、その実現のための試みの一つとしてより高度な教育研究を行うための大学院重点化への移行が全国の主要大学で進行中である。大阪大学工学部においては平成7年度から大学院重点化移行が開始され、それに伴い平成9年度から生産加工工学科は、新しく編成された4大学科の中の応用理工学科に属することになり、大学院工学研究科では生産加工工学専攻が生産科学専攻へと改組した。学科名及び専攻名改称は昭和62年に溶接工学科及び溶接工学専攻からそれぞれ生産加工工学科及び生産加工工学専攻に改称したの続き、今回が二度目ということになる。かつての大阪大学の溶接工学科は、戦後の我が国の飛躍的な工業化とその成長に寄与した溶接技術をサポートする溶接工学の体系化および人材育成に少なからず貢献してきた学科であった。また、溶接工学科で展開されてきた教育研究は時代が要求していた知識、情報を忠実に反映しており、その意味でまさに我が国の溶接に関する教育・研究の中心的な存在でもあった。ここでは溶接工学科から発展改

組した生産加工工学科を母体とし大学院重点化により改組・設置された生産科学専攻の体制及び理念を紹介すると共に本専攻における溶接・接合研究の現状と将来の展望を述べ、読者の参考に資したい。

2. 大学院重点化における改組の要点

大阪大学工学部では学部卒業生の約70%が大学院へ進学するが、生産加工工学科においても学部卒業生の70～80%が大学院進学でそのうち約10%が後期課程(博士課程)に進学する状況であった。すなわち、実質的には学部から大学院までの一貫した教育体制が行われており、既に大学院に研究・教育の重点が移行していた。その中で工学部では平成7年度から大学院重点化体制への移行が開始された。大阪大学における大学院重点化に伴う制度上の変革は、大学科制、大講座制の導入、及び分野横断的な大学院専任専攻に設置である。これまで大阪大学工学部には20の学科と2つの大学院独立専攻が存在していたが、これを応用自然学科、電子情報エネルギー学科、応用理工学科及び地球総合工学科の4つの大学科に再編成した。このうち、応用理工学科は、機械、産業機械、電子制御機械の機械系3学科、および材料開発、材料物性、生産加工の材料系3学科の計6学科が母体となって編成された。また、応用理工学科の大学院の専攻としてはそれぞれの旧学科に対応して機械物理工学専攻、機械システム専攻、電子制御機械工学専攻、マテリアル応用工学専攻、マテリアル科学専攻及び生産科学専攻が設置された。さらに、これらに加えて応用理工学科に分野横断的な大学院専任専攻として知能・機能創成工学専攻が新たに設置された。

これらの改組に伴い、学生の教育に関しては、学部2年

*原稿受付 平成9年11月5日

**正 員 大阪大学大学院 Member, Osaka University

次までは、材料、機械、生産にわたる共通的な教育を行い、3年次に進学時点で大学院の各専攻に対応する各コースに分属し、専門基礎的な教育を行う。大学院では各専攻においてそれぞれの分野でより専門的な教育が行われる。

3. 生産科学専攻の体制と理念

大学院で生産科学専攻と称する専攻を有する大学は全国で大阪大学の他には、茨城大学、埼玉大学、神戸大学、熊本大学にその例がみられる。これらの大学では生産科学専攻はいずれも大学院後期課程（博士課程）のみに属する専攻であり、学科目としての生産科学コース及び大学院前期、後期課程における生産科学専攻を設置して、生産科学に関する教育・研究を学部・大学院を通じて一貫して実施するのは大阪大学が唯一の大学といえる。大阪大学大学院生産科学専攻では、その理念として、生産における「材料の高機能構造化プロセス」とそれを支える「生産の知的システム化」の二つを大きな柱とする「モノづくり」における科学の体系化を掲げている。図1は生産科学専攻が守備する工学分野のイメージ図であり、モノづくりにおける生産プロセス・システム中で生産科学専攻が対象とする目標を示す。すなわち、生産科学の体系化で目標とするところは高機能、高性能、複合化、高信頼性、高集積、創成、合目的などの言葉で表される生産における先端的分野を作り上げることであり、それを達成するため、インテリジェント化、クリエイティビティ、リサイクル、融合などの要素コンセプトを融合させ、創造的生産システムの構築を求めようとするものである。製品・構造設計から製品に至る過程では、「物」と「情報」の二つの流れがあり、知的生産システムとはこれらの流れを合目的、有機的かつ統合的に結び付けるシステムである。一方、加工プロセスを複合化や知的化した高機能構造化プロセスでは、材料特性や加工プロセスの科学的基本の理解の上で生産の知的システム化のための加工現象の予測、並びに複合的あるいはミクロ的になされる

加工現象の科学的基本の理解を目指している。生産科学専攻では、このようなモノづくりのプロセス・システムを支える科学的基本の探求を第一義としている。

大阪大学大学院の生産科学専攻では大学院重点化に伴い、従来の8つの小講座から機能化設計学講座、知的プロセッシング工学講座、知的システム工学講座、高機能システム工学講座の4つの大講座へと編成換えを行った。さらに、これに加えて、接合科学研究所からは溶接・接合機構学講座、プラズマプロセスビーム加工システム工学講座、加工数理システム工学講座、耐環境表面改質システム講座が協力講座として加わり、生産科学専攻を形成する。また、大学院専任専攻の加工システム創成工学講座とも教育・研究の両面で密接な連携をとる。

生産科学の各講座は専攻理念を受けて、それぞれ以下のような研究基盤に立脚した教育と研究を行う。

機能化設計学講座は、「構造化強度学」と「構造知能化設計学」の二つを学問領域とし、「材料の構造機能化と先端構造の知的創成を目指した材料構造化設計・破壊制御設計・界面制御設計・知能化設計などのシステムとしての設計思想の構築を図る」ことを主たる研究・教育内容とする。

知的プロセッシング講座は「複合機能化プロセス工学」と「材料接合プロセス工学」の二つを学問領域とし、構造製品に機能を発現させるためには材料を機能化し、溶接・接合などの加工を知能化した知的融合型の知的プロセッシング工学が必要であるとの立場から、加工プロセッシングの体系化を図ることを主たる教育・研究内容とする。

知的システム工学講座は、「知的加工システム」と「微細加工システム」の二つを学問領域とし、「システムの知能化・高度化に必要な設計、プロセス、計測・制御、機能・信頼性評価などの基礎科学とこれらを基礎とした知的統合システム構築と体系化を図る」ことを主たる研究・教育内容とする。

高機能システム工学講座は、「高機能材料評価システム工学」と「統合生産設計システム工学」の二つを学問領域とし、「高機能材料を用いた高付加価値製品を設計・生産するプロセスを高機能システムとして捉え、材料・製品の高機能化と生産の高度化を図る」ことを主たる研究・教育内容とする。

4. 溶接・接合に関する研究動向

新しく改組・設置された大阪大学大学院生産科学専攻における溶接・接合研究の将来の展開について述べる前に、本専攻の母体である、溶接工学科（溶接工学専攻）及び生産加工工学科（生産加工工学専攻）におけるこれまでの溶接・接合研究の変遷について振り返ってみよう。図2は1960年から1997年に至る溶接工学科（溶接工学専攻）及び生産加工工学科（生産加工工学専攻）におけるこ

図1 大阪大学大学院生産科学専攻が守備する工学分野

図2 大阪大学工学部溶接工学科，生産加工工学科における卒業論文及び修士論文研究テーマの分野別推移

これまでの卒業論文及び修士論文テーマの分野別の構成比を示す。溶接工学科ではその開設以来，1985年頃までは研究内容としては学科名に表わされるごとく，研究の主体は溶接・接合で全テーマ数のほぼ90から95%を占める。残りの約5～10%も溶接に密接な関連のある溶射・切断であった。1986年頃から，この傾向にやや変化がみられ，溶接・接合分野が減少すると共に新たに表面改質，微細加工，新素材創成といった分野のテーマが増加している。この時期はちょうど溶接工学科から生産加工工学科に改称された次期に対応しており，その準備段階であった1986年頃から溶接・接合以外の新たな領域への研究分野の拡大が研究テーマの内容の変化となり現れたと思われる。その後，溶接・接合以外の分野のテーマ数が増加する傾向が続き1995年では溶接・接合に関するテーマが約50%に低下している。しかしながら，ここ二年間では再び溶接・接合に関するテーマの割合が増加傾向に転じ，1997年では約60%となっている。研究テーマの内容を細分化し，最近5年間と，1965～1969年の5年間で比較した結果を図3に示す。1965～1969年は我が国が高度成長の絶頂期であり，造船，重工業など重厚長大産業が活況を呈していた時期でもあった。これを反映して，溶接・接合研究は鉄鋼材料のアーク溶接を対象としたものが主体であり，これに関連した溶接現象の解析，溶接冶金，溶接力学，溶接設計，溶接機器，非破壊検査などが主たるテーマであった。その他，この時期には，電子ビーム溶接，ろう付けを主体とした界面接合などのテーマもみられるが，レーザ溶接についてはテーマ数としてはごく僅かであった。これに対して最近五年間では溶接・接合研究の内容が大きく変化している。すなわち，アーク溶接に関するテーマは約30%に減少しており，変わってレーザ溶接関連のテーマが17%と増加している。また，界面接合に関するテーマも増加している。この図には示されていないが，界面接合に関してはその内容も1965～1969年と最近の5年間では大幅に変わっており，最近では拡散接合，摩擦溶接，爆発接合などの接合や，それらの新素材への適用などの研究テーマの増加が注目される。レーザ溶接

(a) 1965年～1969年

(b) 1993年～1997年

図3 過去5ヶ年(1965年～1969年)と最近5年(1993～1997年)の大阪大学工学部溶接工学科，生産加工工学科における卒業論文及び修士論文研究テーマ内容の比較

についても従来は発生装置や溶接現象に関するテーマが主体であったが，最近ではレーザ溶接部に関する力学的アプローチや材料学的アプローチに関するテーマも増加している。溶接・接合以外のテーマでは，表面改質，微細加工などのテーマが増加しているのが目を引く。これらのテーマはいずれも溶接・接合分野と比較的近い領域であるが，最近では溶接・接合にとらわれない生産システム一般に関してのテーマが研究対象となっているのも注目される。以上のように，溶接・接合分野ではレーザ溶接並びに新しい界面接合などに関するテーマが増加すると共に，溶接・接合以外の分野のテーマがある一定の割合を占めるようになってきているのが最近の傾向といえる。しかしながら，構成比から見ると溶接・接合に関するテーマが過半数を占め，その

他、表面改質や微細加工、溶射・切断など比較的、溶接・接合分野に近い領域のテーマを含めると、約 75% を占めている。このように、溶接工学科から生産加工工学科へと変遷はあったものの、研究テーマの内容からは、溶接・接合分野に関する研究アクティビティーに本学科の特徴があることは明らかな事実であり、大学院重点化により生産科学専攻に改組された後もこの思想は受け継がれるものと考えられる。

5. 溶接・接合に関する研究の今後の展開

生産科学専攻における今後の溶接・接合に関する研究について各学問領域で考える今後の展開は以下のごとくである。

機能化設計学講座「構造化強度学」領域では構造化の基本となる評価を取り上げ、特に材質的・構造的不均質に注目した「不均質材力学」、界面評価力学などの体系化とその新しい設計的展開を目指している。現在、溶接・接合に関しては、パイプライン用高強度鋼の適性利用、動的負荷を受ける建築鉄骨構造物の破壊安全性評価法、溶接継手の弾性・塑性応力集中特性に及ぼす形状因子と溶接部強度ミスマッチの影響、レーザ溶接硬化部による塑性拘束を利用した超小型破壊靱性試験手法、溶接継手の強度・破壊挙動に及ぼす継手形状・強度ミスマッチあるいは歪速度の影響及び溶接変形制御のための力学的アルゴリズムなどに関する研究に取り組んでいる。今後は、これらの領域の研究を発展させるとともに不均質材力学のマクロからミクロへの展開として微視的不均質形態の制御による構造用鋼の高機能化に関する研究を実施する。

機能化設計学講座「構造知能化設計学」領域では宇宙並びに次世代エネルギー関連などの過酷な環境下で使用される先端構造体の設計と安全性を確保するために AI、コンピュータ援用設計ならびにシミュレーションを駆使することによる「知的環境構造設計」、「損傷評価と寿命予測」ならびに「エキスパートシステムとシミュレーションによる先端構造設計」などの体系化を行うことにより、新しい知的構造設計の展開を図ることを目指している。現在、溶接・接合構造物の遅れ破壊の分子レベルから実構造に到るシミュレーションをもとにエキスパートシステムならびに CAD を用いた知的設計と事故防止に関する研究を行っている。今後は、さらに過酷な環境下での溶接構造物の損傷評価と AI の適用による高破壊抵抗を有する先端構造設計に関する研究を行う。

知的プロセッシング講座「複合機能化プロセス工学」領域では構造物・製品の機能に適合した特性を材料に付与し、構造化するための機能化プロセス、複合加工プロセスなどの体系化とこれらを基盤とした新しい知的な材料プロセッシングへの展開を図る。現在、溶接・接合に関し

ては高エネルギー密度熱源や自己燃焼合成反応を用いた材料の局所的機能化・複合化、レーザ融接法、拡散接合法による材料の構造化およびマイクロエレクトロニクスにおける超微細構造化、LSI などの実装における超微細接合に関する研究を進めている。今後、マイクロエレクトロニクスにおける超微細接合から大型構造物への材料の構造化、機能化に関して材料科学に立脚した加工現象、加工機能の解明とそれに基づいたそれぞれのプロセスの最適化、合目的化を目的とした系統的な研究を行う。

知的プロセッシング講座「材料接合プロセス工学」領域は溶接・接合を主たる研究対象としており、既存の材料から先端材料に至る幅広い材料に対する溶接・接合工学、表面改質工学などの体系化と材料科学的基盤に基づいた接合プロセスの最適化を追求するための材料接合情報工学など新しい知的接合工学への展開などを旨とする。現在は耐食合金及び耐熱超合金の溶接、単結晶合金や ODS 合金などの先端材料の接合並びにレーザ表面改質などの溶接・接合及び表面改質に関する材料学的アプローチを行うとともに、溶接・接合部の材料挙動のモデリングとシミュレーションに関する研究を行っている。今後、知的接合工学の確立を目指し、溶接・接合部の特性の合目的化を目指した“材料接合情報工学”を発展させると共に先端材料の接合に関する研究並びにレーザ溶接及びレーザ表面改質などの新しい材料プロセッシングに伴う加工部の材料挙動に関する研究を展開する。

知的システム工学講座「微細システム」領域では、エレクトロニクスデバイス、マイクロマシンなどの微細システムの知能化・高度化に必要な設計、プロセス、計測・制御、機能・信頼性評価などの基礎科学とこれらを基盤とした知的統合システム構築の体系化を目指した研究を行う。微細システム創成において、材料・機能の集積化技術として材料と材料の接合プロセスは重要課題の一つであり、現在、金属-有機材料の接合プロセス、溶接のぬれ性評価、微細接合部の自動検出・検査システムおよび微細接合部の品質保証システムの研究などを行っている。今後は、環境問題も考慮した微細システムの設計から使用までの一連の生産システムの中における創成プロセスとしての接合を設計にフィードバック可能なように、ミクロな現象（サイエンス）とマクロな結果（工学技術）の有機的結合、およびプロセスデータのデータベース化を図りながら研究を進めていく。

知的システム工学講座「知的加工システム」領域では、自動車、エレクトロニクス分野などミクロからマクロに至る接合、改質、新機能創成などの高度な先端加工における加工システムの知能化を図る。具体的には、レーザ加工システムを対象とし、加工現象のコンピュータシミュレーションによる予測、インプロセスでの加工の知覚・診断、加工を最適化する制御、人間の判断や意思決定を

支援し学習・成長する機能を備えた知的な加工システムを構築する。現在、レーザ溶接におけるキーホール現象の解析、レーザクラディング現象の解析、レーザ照射による蒸発を伴う溶融現象の熱流体解析、レーザアブレーションの分子動力学シミュレーションなどに関する研究を行っている。今後は、知的レーザ溶接システムの構築並びにバーチャルレーザ加工システムの構築に関する研究を展開させる。

高機能システム工学講座「高機能材料評価システム工学」領域では、複合材料構造物の高機能化・インテリジェント化を目指し、マイクロ-マクロ相関を考慮して生産プロセスから製品強度までを評価するバーチャルプロダクションシステム構築の基盤となる「複合材料工学」およびハイパフォーマンスコンピューティング（計算力学）、損傷力学および信頼性工学を総括する「構造・機能評価工学」とを担当している。現在、溶接・接合分野においては、高分子系材料継手の融着接合過程のシミュレーション、溶接コストを考慮したビーム部材挿入による軽量補強設計並びに構造・システムの信頼性評価に関する研究を行っている。今後は、溶接・接合の合目的利用を考慮した生産プロセスから製品強度までを評価するバーチャルプロダクションシステムの構築を目指した研究を展開する。

高機能システム工学講座「統合生産設計システム工学」領域では従来の我が国の生産パラダイムである「より良い製品をより安価に」提供する方針を新しい視点から見つめ直したパラダイム転換をはかり、ライフサイクルも考慮した高機能な製品の設計を行う「高機能設計工学」、製品利用環境も考慮した高度な生産環境を実現するための「高度生産工学」それらを高次元で総合した「統合生産設計システム工学」を基盤とする。現在、溶接・接合に関連した分野では溶接施行に適したCAD/CAMシステムを構築するという観点から、溶接施行に必要な情報、情報の流れ、情報の処理を明確にするという検討を実施している。今後、この研究を発展させ、溶接施行の

自動化、あるいはCAD/CAMに求められる機能を明らかにし、溶接施行に適した生産システムにおける基本的なアルゴリズムを構築することを目指す。

大学院専任専攻の加工システム創成工学講座は、要素技術としての加工プロセスの解析と開発、加工プロセスのセンシングと制御、さらにはこれらを統合した加工システムの構築に関する研究を行っている。現在、溶接・接合に関連した分野ではアーク溶接及びレーザ溶接プロセスのモデリング、加工プラズマの特性解析、マイクロ放電現象、IR及びUVによる温度計測、メタルプールの対流現象、プラズマ溶射プロセスのリモートセンシングなどの研究を行っている。今後は、加工プロセスの知能化やコンピュータ支援溶接、マイクロ熱加工の実用化などを旨とした研究を展開する。

6. お わ り に

21世紀に向けて、製造業は規範の転換を余儀なくされ、それに伴い製造業を支えてきた要素技術である溶接・接合に関しても、高度情報化生産システム、技術の国際化への対応や難接合性の先端材料対応の接合技術開発など新たな要素が求められている。このような転換期にあって、将来を担う人材の育成並びに時代に活力を吹き込む創造的技術の研究の場としての大学の責務は大きい。溶接工学科から改称した生産加工工学科を母体として改組、設置された生産科学専攻はこれまでに蓄えられた知的情報を基に、現在においても溶接・接合分野に関する高い研究アクティビティーを持つことが特徴である。将来は情報化、知的化、融合化などの理念を取り入れつつ、時代の要請に対応できる溶接・接合分野の研究をさらに発展させ、生産科学専攻が次代の産業に対する創造的指標を発信する場となるべく、ますます、研鑽を重ねる必要があると筆者は考えている。

[販 売 中]

平成8・9年度

溶 接 学 会 会 員 名 簿

平成9年12月 発行

定価 5,000 円（送料別）

ご注文その他については下記にお問い合わせください。

社団法人 溶接学会 〒101 千代田区神田佐久間町1-11

☎ 03-3253-0488 ファックス 03-3253-3059

e-mail: jws-ms@t3.rim.or.jp