

## TODAY

## 国立大学法人に溶接工学・接合科学に関する学術研究拠点が存在する意義



大阪大学  
接合科学研究所  
所長 中田一博

古くは溶接工学講座が各地の国立大学にあったが、鉄鋼などの金属材料の講座と同様に、消えつつあるのは残念である。幸いなことに溶接工学に関しては先人諸兄のご尽力によって大阪大学に、接合科学研究所という溶接工学・接合科学に関する総合的な学術研究拠点と、大学院工学研究科にマテリアル生産科学専攻生産科学コースという、溶接工学に関連する教育研究拠点が存在する。

大学の研究も最近では、出口という言葉で実用的な成果を求められる傾向がますます強くなっているが、大学の大きな使命の一つである人材育成の観点からは、鉄鋼などの金属材料や溶接工学などのものづくりに直結する基盤的研究分野の持続的な継承は、講義等の座学だけでなく、研究を通じた実践的な教育を行う場を与えるためにも極めて重要な役割を担っている。

一方、接合科学研究所は文部科学省から接合科学に関する全国共同利用・共同研究拠点と認定されており、今年度の共同研究員の登録数は国公立大学、公的研究機関、地方公設研究機関などから約230名に達する。もちろん、溶接工学を基盤とし、さらに接合科学というより幅の広い学問領域への転換を果たしたことも、このように多くの共同研究員が集まる理由の一つであろう。

研究を主たる使命とする大学附置研究所などでは、先進的なシーズ発掘型研究が求められる。このため溶接工学のように成熟しつつある基盤的研究分野においても革新的な展開が必要であり、例えば低炭素社会構築に向けた国際的にもオンリーワンのグリーンイノベーション対応接合プロセスや解析評価システムの開発などが上げられよう。このような中での戦略的な対応として最も重要なのは、人を惹きつける魅力的な研究者の育成ならびに確保であると考えている。

今年5月にカナダのアルバータ大学の若い准教授が、接合科学研究所との学術交流協定の交渉目的で訪ねてきた。溶接に関する研究拠点がカナダの大学にぜひとも必要であるとの考えの下に、石油開発関連11社の出資で2009年に新設されたカナダ溶接研究センターの所属であり、技術開発と人材育成を担うとのこと。同大にはもともと溶接関係の教授が一人おり、小職もアメリカのオハイオ州立大の同じ研究室でしばらく一緒だったことがある。彼の退職で業界が危機感を持ち、設立に至ったとのことであった。主要先進国でも、先進ものづくりに必須の溶接工学の重要性は認知されており、イギリスのTWI、アメリカのEWIなど各国に一つは溶接工学関連の拠点研究施設がある。また一方、発展が著しい中国やインドなどでは社会インフラ整備と製造産業の急速な拡大に伴い基盤技術と人材のレベルアップが急務となっており、接合科学研究所との連携希望が数年前から数多く寄せられている。これまでに13カ国、22研究機関とで協定を結んでおり、今後、接合科学研究所の国際的なプレゼンスがより一層重要になると考えている。

このような国際化の流れの中で、接合科学研究所は2008年に国際溶接技術者(IWE)資格教育認定機関(ATB)の承認を受け「接合科学研究所国際溶接技術者(IWE)コース」を設置し、大学院生産科学コースと連携して技術者教育を実施しており、2010年3月に第1期生7名が修了し内4名がIWE資格試験に合格している。大学院修了時のIWEディプロマ資格取得は我が国で初めての出来事である。

溶接工学・接合科学は華やかな脚光を浴びることはほとんどないが、輸出立国を支える高品質ものづくりと高信頼性社会基盤システムを支える製品製作の最終工程での必須の科学技術である。このような背景のもと接合科学研究所は、溶接工学・接合科学に特化した唯一無二の大学附置研究所としてその存在責任を果たして行かなければならない。

NEDO「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤技術研究開発」  
 における溶接技術 SG の活動 (3)  
 - レーザ TF の現状 -

溶接技術 SG サブリーダー/レーザ TF リーダー 中西 保正 ((株)IHI)  
 レーザ TF サブリーダー 安田 功一 (JFE スチール (株))

平成 19 年度開始の「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤技術研究開発」は平成 21 年 7 月に中間評価が終り、平成 22 年度からの継続が認められて後半のプログラムが進められている。溶接 SG は現在 HT980TF とレーザ TF から形成されている。今回は、No.259 (溶接技術 SG の全体概要)、No.272 (HT980TF) に引き続き、レーザ TF のこれまでに得られた成果の概要と現在の取組みを紹介する。

1. レーザ TF の概要

1.1 背景と目標

レーザ溶接は極小入熱のため溶接変形が小さいなどの理由で適用が増加しているが、自動車産業における薄板溶接や航空機産業などにおける部品製造が中心であり、大型構造物における中厚板 (板厚: 12 ~ 25mm) 鉄鋼材料への適用はほとんど実用化されていない。一方、近年レーザ溶接機 (発振器) の高出力化が進み、ファイバレーザやディスクレーザの実用化によりコンパクトな溶接装置が得られるようになった。それにより中厚板を 1 ~ 2 ランで溶接することが可能となりつつあり、高能率・高効率溶接に対する期待は大である。しかし、中厚板ではビード幅が狭い「狭隘継手」のため、シャルピ衝撃試験において FPD (Fracture Pass Deviation、き裂の逸脱) が生じて正確な値が求められないこと、適正な破壊じん性値の設定方法、許容欠陥寸法の設定などの課題がある。また、一般に 780、980MPa 級高張力鋼 (HT780、HT980) では低温割れ防止のために予熱を行うことが多いが、予熱の省略が望まれている。

ファブリケータが期待する HT780 ~ HT980 の許容応力の期待値を図 1 に示す。近年の製鋼技術および溶接技術の進歩にもかかわらず許容応力は低めに抑えられており、その向上が期待される。また、高強度鋼溶接継手の疲労強度は必ずしも高くなく、例えば HBS (本州四国連絡橋公団) 規格のようにむしろ許容応力範囲が低く設定されている例もある。そのため、高強度鋼の適用において、疲労強度の向上がとくに望まれている。設計板厚は座屈強度などにも依存するため、許容応力の向上は単純に設計板厚の減少には比例しないが、かなりの効果が期待できる。

以上の背景から設定したレーザ TF の開発目標を表 1 に示す。対象鋼種は平成 19 ~ 21 年は板厚: 12mm の HT780、平成 22 ~ 23 年度は板厚: 12 ~ 25mm の HT780 および HT980 鋼である。突合継手の品質は予熱なしで溶接割れのない JIS 1 類の品質を確保する。現状の溶接継手の要求じん性値 (シャルピ吸収エネルギー: vE) は設計温度 (-10 ~ -15℃) に対して vE ≥ 47J 程度

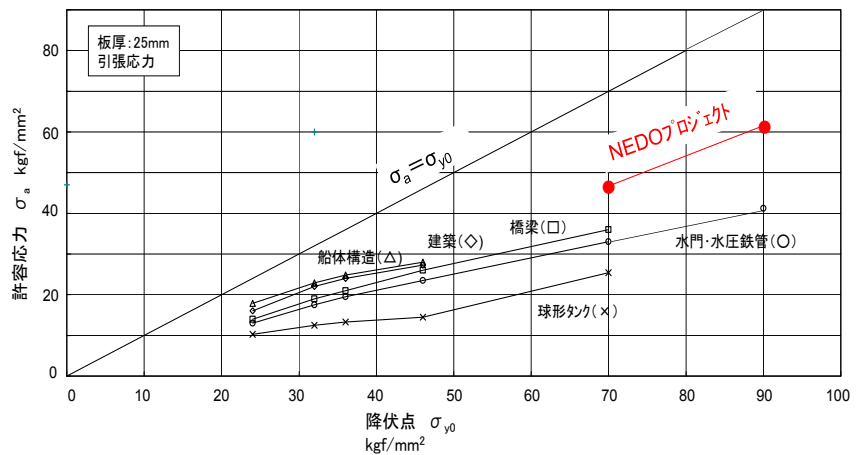


図 1 各種構造物における現状の許容応力と期待

表 1 レーザ TF の開発目標

技術分野	最終目標			年度と対象鋼種	
				H21 (中間目標)	H23 (最終目標)
溶接プロセス	突合継手	板厚: 12mm	1パス貫通溶接	780MPa級鋼 (板厚: 12mm)	780MPa級鋼 (板厚: ~25mm) 980MPa級鋼 (板厚: ~25mm)
		板厚: 25mm	2パス両面溶接		
すみ肉継手	板厚: 12~25mm	2パス両面溶接			
欠陥防止	突合継手	板厚: 12~25mm	JIS1類		
溶接割れ防止	予熱なしで割れなし				
じん性	シャルピ吸収エネルギー: vE <sub>40</sub> ≥ 47J				
疲労強度	突合継手	JSSCアーク溶接継手に対して1ランクアップ			
	すみ肉継手				
破壊安全性	破壊じん性値の簡易評価手法確立				
	大型モデル溶接構造物による施工性、継手性能検証				

が多いが、将来の許容応力向上を考慮して  $vE_{.40} \geq 47J$  とした。シャルピ衝撃試験に対しては、FPD 対策も含めた簡易評価手法を確立する。さらに、大型モデル溶接構造体試験を実施し、施工性および破壊安全性を確認する。疲労強度の設定は、突合継手、すみ肉継手ともに現行の JSSC（日本鋼構造協会）の同一形状アーク溶接継手に対して 1 ランクアップを設定した。

## 1.2 レーザ TF の構成

研究体制は助成研究グループ（企業）と委託研究グループから成り、委託研究グループの成果を受けて助成研究グループが実用化を図る。

### (1) 委託研究グループ

「レーザ溶接プロセス開発タスク（プロセス開発）」は大阪大学接合科学研究所（片山研究室、中田研究室）、愛媛大学（仲井研究室）と物質・材料研究機構（塚本主席研究員、当時）でスタートし、仲井研究室、中田研究室、塚本主席研究員は平成 21 年度で担当テーマが終了している。「構造安全性評価タスク（継手強度）」は大阪大学接合科学研究所（金研究室）と大阪大学マテリアル生産科学専攻（南研究室）が担当している。金研究室は低温割れ防止と疲労強度を担当し、南研究室は破壊に対する安全性を担当している。

### (2) 助成研究グループ

委託研究グループの成果を受け、JFE スチールはレーザ・アークハイブリッド溶接向け溶接材料を開発している。I H I の担当は、施工性の確認、溶接装置の試作、要求じん性値の設定、許容応力の設定および試設計と安全性確認である。

## 2. 現在までに得られた成果の概要（トピックス）

ここでは、プロジェクト前半の板厚：12mm の HT780 における継手性能を中心とした主なトピックスの概要を紹介する。

図 2 に基本継手の断面マクロ組織を示す。突合溶接はレーザ溶接、レーザ・アークハイブリッド溶接ともに健全な溶接継手が得られており、とくにレーザ・アークハイブリッド溶接では実施工におけるルートギャップ裕度の拡大が期待される。すみ肉継手のレーザ・アークハイブリッド溶接では、止端形状改善などによる疲労強度の改善が期待される。

### 2.1 低温割れ防止

レーザ溶接は急熱急冷の熱サイクルを伴うため、拘束がある高強度鋼の実際の継手では溶接部の硬化による低温割れが懸念されていた。しかし、板厚：12mm の HT780 では、レーザ・アークハイブリッド溶接で拘束が大きな継手においても予熱なしでも低温割れは発生せず、予熱なし施工が可能と判断された。現在熱弾塑性解析によるレーザ・アークハイブリッド溶接を含むレーザ溶接継手のひずみが得られ

つつあり、実際の溶接施工における予熱なし施工の適用限界を求めている。

### 2.2 溶接継手性能

レーザ・アークハイブリッド溶接突合継手の継手引張試験結果は目標の母材強度（780MPa）を満足した。

一方、ビード幅が狭く硬化が著しいレーザ溶接継手に対して標準試験片によるシャルピ衝撃試験を行うと、対象とする試験温度域近傍では FPD が生じることが一般に知られている。FPD の取扱いに関してはいくつかの報告があるが、本プロジェクトでは図 3 に示す「サイドグループ試験片」による評価を行っている。図に示した HT780 は低じん性の比較材であるが、規格温度の  $-40^{\circ}C$  でも FPD が生じた。サイドグループ試験片ではそれより高い温度でも FPD は生じなく、サイドグループ試験片は FPD 防止に有効であった。レーザ・アークハイブリッド溶接でも同様のことが言えている。さらに、標準試験片への換算係数も求められている。サイドグループ試験片によるレーザ・アークハイブリッド溶接継手のシャルピ衝撃試験結果では、標準試験片における目標値（ $vE_{.40} \geq 47J$ ）に対してサイドグループ試験片における目標値（換算値）は  $vE_{.40} \geq 13J$  であり、目標を十分に上回っていた。

1.1 項に示す開発目標には含まれていないが、レーザ溶接継手の安全性を求めるために必要となる継手の CTOD 試験も行っており、ビード幅が狭く硬化が著しいレーザ溶接継手に対する目標値が求められている。

また、高強度鋼のレーザ継手は硬化のためぜい性破壊の発生が懸念されていたが、HT780 鋼レーザ溶接継手の切欠付中幅引張試験（試験幅：90mm、板厚貫通ノッチ長さ：30mm）では  $-20^{\circ}C$  で延性破壊であり、引張強度（ $\sigma_{net}$ ）は母材の引張強度を上回った。したがって、 $-20^{\circ}C$  程度までは欠陥が残存していても安全に使用することができるかと判断された。

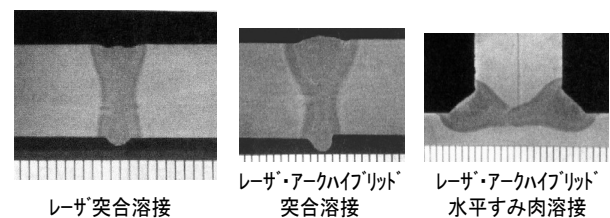


図 2 レーザ溶接継手の断面マクロ組織の例

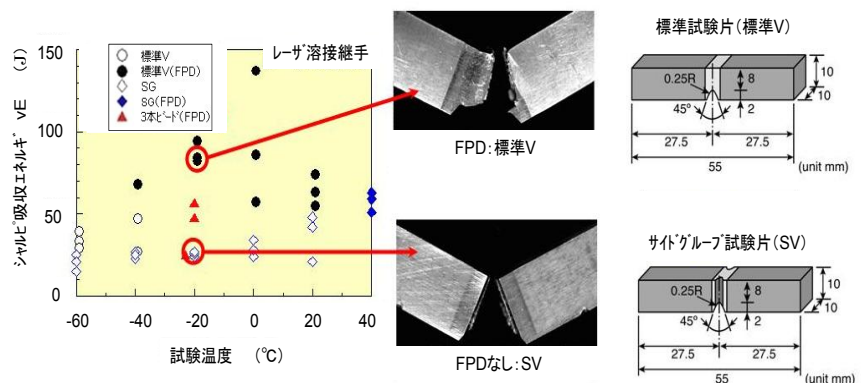


図 3 HT780 レーザ溶接継手のシャルピ衝撃試験の例



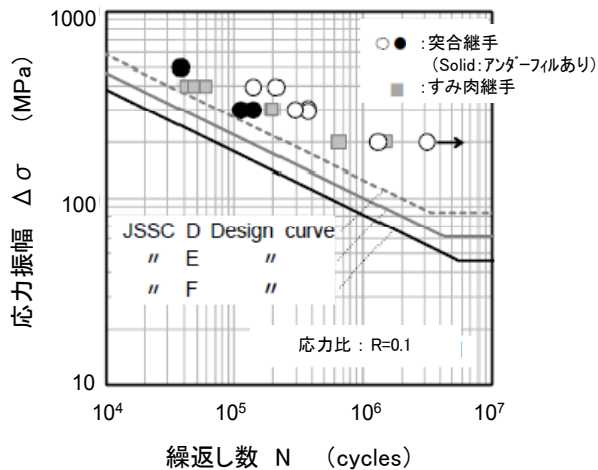


図4 HT780 レーザ溶接継手の疲労試験結果の例

図4にHT780レーザ溶接継手の疲労試験結果の一例を示す。突合溶接継手はD等級設計曲線を満足し、目標を上回った。すみ肉溶接継手の目標はD等級であり、設計曲線を上回った。レーザ・アークハイブリッド溶接によるさらなる疲労強度の安定した向上を期待している。

溶接継手の疲労強度はき裂発生寿命と進展寿命から成り、疲労寿命を正確に評価するためには両者を分離する必要がある。ビード幅が狭く、局部的に硬化組織となっているレーザ溶接継手では、これまで詳細なデータがなく、FSM（電場指紋照合法）による検討を行っている。これには平成21年度の加速財源による横向き繰返荷重載荷アクチュエータが活用される。

### 3. 今後の展開

既に述べたように、平成22～23年度は板厚：12～25mmのHT780およびHT980鋼を対象としており、現在計画に従い各種試験を進めている。

図5に平成21年度のNEDO加速財源で大阪大学に導入された16kWレーザ溶接装置を、図6にプロジェクト予算で導入したセンシング機能付レーザ溶接ヘッドを示す。本溶接ヘッドにはレーザヘッド、ホットワイヤトーチのほかにギャップを検知するためのレーザカメラ、ギャップをトラッキングするためのアクチュエータが装備されている。図7に示すように、レーザ発振器の大出力化と併せて、ギャップ：0.4mmに対して2m/minの溶接速度で板厚：12mmのHT780の安定した溶接が可能となっている。

また、平成23年度には実際の構造物を模擬した三次元大型モックアップ試験によるモニタリング装置（プロジェクト予算）を含めた溶接施工性の検証試験を計画しているほか、実際の構造物における応力状態を再現した広幅引張試験（幅：400mm、切欠長さ：160mm）による安全性検証も計画している。



図5 16kW レーザ溶接装置（発振器）



図6 センシング機能付レーザ溶接ヘッド

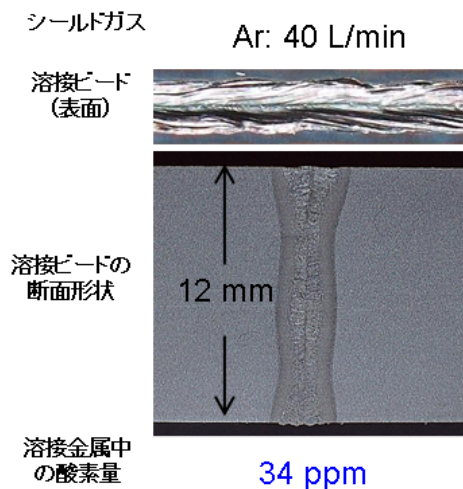


図7 センシング機能付レーザ溶接ヘッドを用いた16kWレーザ溶接装置によるHT780（板厚：12mm）の突合溶接の例

The Japan Research and Development Center for Metals  
**JRCM NEWS / 第 287 号**  
 内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。  
 本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2010年9月1日  
 発行人 小紫正樹  
 発行所 財団法人 金属系材料研究開発センター  
 〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階  
 TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285  
 ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>  
 E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)