

車体軽量化技術を支える高張力鋼板利用技術に関する展望

Outlook of Application Technologies Supporting Weight Reduction of Automobile by Using High Strength Steel Sheets

吉武 明英 YOSHITAKE Akihide JFE スチール スチール研究所 薄板加工技術研究部長・工博
安田 功一 YASUDA Koichi JFE スチール スチール研究所 主席研究員(部長)・工博

要旨

自動車軽量化を進める上で重要な高張力鋼板の適用拡大には、素材開発による成形性の向上のみならず、材料をいかに使いこなすかの利用技術の提供が必要不可欠である。高張力鋼板の適用拡大を支える利用技術例として、解析技術を活用した予測評価技術、接合技術、ならびにそれらを展開する関連体制を紹介し、JFE スチールの利用評価技術への取り組みの姿勢の一端を述べる。

Abstract:

Simulation and evaluation of body structural performance by using a CAE technique are important to expand the application of high strength steel sheets for the weight reduction of an automotive body. JFE Steel has been developing new circumstances for these application fields to establish an Early Vendor Involvement (EVI) Activity for automobile manufactures. In this paper, outlook on application technologies supporting the weight reduction of an automotive body is summarized.

1. はじめに

高張力鋼板は、地球温暖化防止と最近の原油価格の高騰を背景とした自動車軽量化ならびに衝突安全性の確保、向上の面からその使用拡大が期待されているが、材料自身の成形性は強度の向上にともない低下する傾向がある。したがって、高張力鋼板を積極的に自動車構造部材へ適用しようとする自動車メーカー、部品メーカーの要求に迅速に対応するためには、材料提供のみならず成形加工の面からも支援することが必要不可欠であり、当社スチール研究所では 2003 年度からこのような新加工技術の開発を手掛けてきた。

また、材料・加工技術の総合力と部品製造コストをも考慮して自動車の設計段階から自動車メーカー、部品メーカーと材料メーカーが技術的に協力し合い、自動車部品を迅速に開発する「協創」の活動、EVI 活動(Early Vendor Involvement)を積極的に展開している。その一環として、2005 年 8 月スチール研究所千葉地区に自動車分野に焦点を絞った業界初のカスタマーソリューションラボ (Customers' Solution

Laboratory : CSL) を、また自動車用薄板を対象とした包括的技術提携を継続しているドイツ ThyssenKrupp Steel AG との合弁会社 JEVISE ジーバイス(株)を 2005 年 6 月に開設し、多くの自動車メーカー、部品メーカーの設計部門の技術者との会話を積極的に実施しており、ジーバイス社を活用した新加工技術も EVI のさらなる深化に活用する予定である。

2. 軽量化技術を支える利用評価技術

これまで自動車の軽量化は構成する材料の薄肉・高強度化にて対応されてきた。ある車種を対象として高強度鋼板を採用した際の軽量化効果を試算した例を Fig. 1 に示す。

ここで、それぞれの試算例は以下の要領で仮定した。

- Case 1 : 車体骨格、補強部材に 590 MPa 級材料を主に採用、外板には 390 MPa 級を主に使用。
- Case 2 : 車体骨格、補強部材に 780 MPa 級材料を主に採用、外板には 440 MPa 級を主に使用。
- Case 3 : 車体骨格、補強部材に 980 MPa 級材料を主に採用、外板には 590 MPa 級までを使用。

これらの試算から、使用する材料の強度を積極的に上昇させても、その軽量化効果は高々 20% までであり、現在自

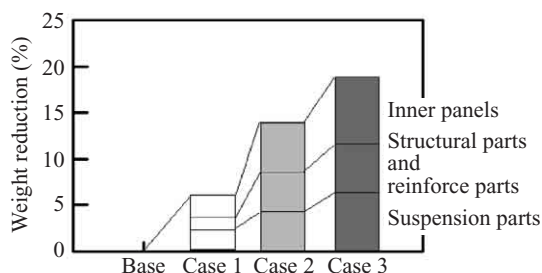


Fig. 1 Effect of weight reduction of automotive body by using high strength steel sheets

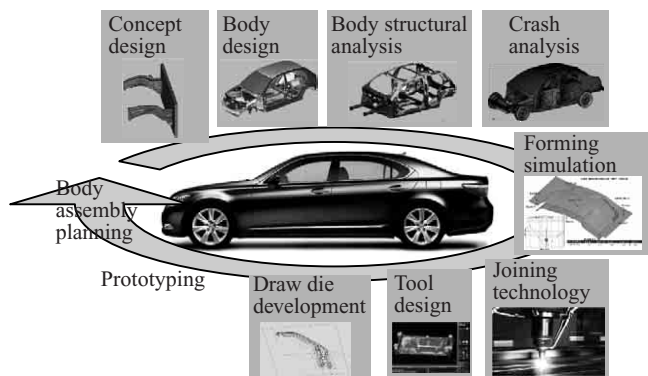


Fig. 2 Technology fields in early vendor involvement from JFE Steel

自動車メーカーが進めている軽量化レベル 25~30%の達成は困難なことが予想される。したがって、車体構造の変更も合わせて軽量化を実施することが必要であり、そのためには CAE（解析技術、特に有限要素法を活用した部材の成立性評価、車体の衝突特性、剛性評価並びに予測技術）を活用した車体特性の予測技術開発が不可欠である。

このような背景の下、当社では自動車軽量化に対する材料提案を車体構造の提案と合わせて実施する、EVI 活動を積極的に進めてきた。本活動は、自動車構造、部品の設計段階から材料メーカーが会話を開始し、要求される特性を維持・向上させるための構造変更、材料変更を提案し共同開発を実施するものであり、従来の単なる材料提供、プレス成形性の評価だけでなく部材特性、車体性能、量産性までの範囲を網羅することを目的としている (Fig. 2)。その最前線は、本号「シミュレーション評価・予測技術を活用した自動車会社との共同開発活動 (EVI) への JFE の取り組み¹⁾」にその一部を紹介している。要求される利用評価技術は従来と比較して遥かに広範囲に渡り、その評価、予測技術の要求精度は高い。さらに、その精度検証のための評価装置、測定装置の充実も並行して実施しており、その一部は本号でも紹介している。

3. 解析技術 (CAE)

CAE は、コストのかかる実験的検証を実施することなく計算機上で評価・検証が可能であることから、近年急速に

発達、利用されてきた技術である。材料メーカーが自動車に使用される材料の適合性を議論する場合、このような解析技術を駆使した説得力のある提案が必要不可欠であるため、当社独自の解析技術の開発を継続的に実施している。ここでは、従来から最も多く評価に使用されているプレス成形評価と部材の衝突評価特性に関する解析技術を紹介し、その重要性と必要性を述べる。

自動車鋼板のプレス成形性に関する評価は、材料の加工限界曲線 (FLD: forming limit diagram) により一般的に評価され、またプレス品各部のひずみ分布は CAE 解析により評価できることから、その対比で評価されている。一方、解析技術による実プレス部品のひずみ分布予測精度に関しては、実プレスの詳細条件、たとえばビード形状、金型と材料の摺動挙動、BHF (blank holding force) 条件などが正確に反映されないと、正確には合わない。製品形状だけが分かっており、金型形状が不明である場合、または金型形状が分かっているにもかかわらずその後の玉製により金型形状が修正されているような状況で解析の精度が悪くなるのはこれらが原因である。したがって、ユーザ、金型メーカーとの密接な会話情報交換により、いかに正確なプレス加工条件を入手できるかが予測精度の鍵を握るといってもよい。一方、材料の FLD 特性に関しては、当社は独自の評価方法を採用した材料ごとのデータベースをすでに構築しており、一般に採用されている予測式と比較してその精度は格段に優れている。

部品特性予測の精度に関する例として、部品の衝突特性評価に関するものがあげられる²⁾。自動車軽量化が大きくクローズアップされ、高強度材料を使用した衝突特性向上に関する研究が積極的に行われた 1990 年代、衝突現象に対応したひずみ速度領域での材料特性に関する研究が盛んに行われた³⁾。自動車構造部材を代表するハット部材での結果を Fig. 3 に示す。材料強度のひずみ速度依存性を高速引張試験装置により正確に評価し (Fig. 3)、その特性を用いて部材の衝撃特性を評価した例である (Fig. 4, 5)。これらの結果から、衝突特性予測の精度向上には材料強度のひずみ速度依存性の考慮がいかに重要かが良く理解できる。

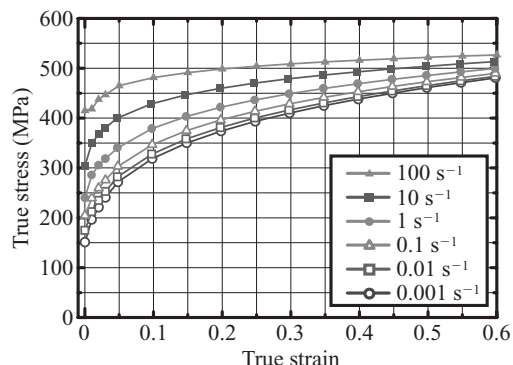


Fig. 3 Strain rate sensitivity of stress-strain curve of mild steel

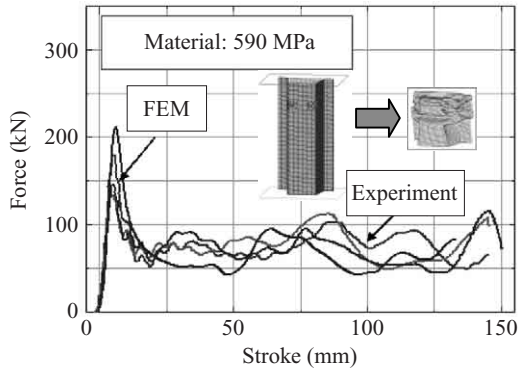


Fig. 4 Estimation of Crash behavior by using CAE

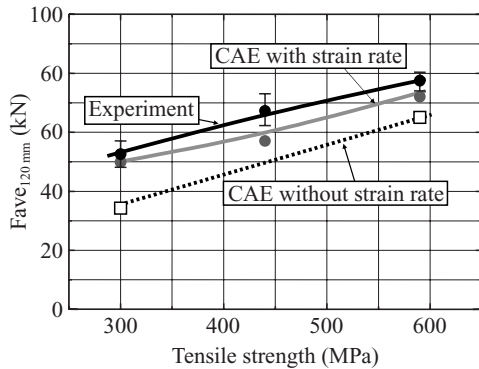


Fig. 5 Accuracy of CAE estimation with/without strain rate effects

当社では、単なる解析手法開発に止まらず、解析精度を実験と比較しながらその精度を検証、蓄積してきている。さらに、具体的な自動車部品ならびに車体の衝突特性評価に関してもこの手法は反映されており、EVI活動の付加価値として今後とも活用して行く予定である。

一方、プレス成形解析技術の精度はかなり向上してきたとはいえ、いまだ多くの課題を残している。たとえば、プレス工程での割れ、しわなどの不具合は予測できるものの、プレス工程での伸びフランジ特性は十分な予測ができない。現在このような特性の予測技術を積極的に開発中であり、近い将来サスペンション・アーム、サイドパネル・アウトターなどの伸びフランジ特性の要求される部品の成形性にも十分な精度で評価する技術が開発できると考えられる。

4. 実験評価技術

スチール研究所では、自動車用高強度鋼板の難成形部品への適用拡大に向けた新成形技術 (JFE Intelligent Multi-stage Forming with Press Motion Control, 商標出願中: JIM-Form) を開発し、実用化に向けた部品試作研究開発を開始した⁴⁻⁶⁾。本技術は、プレス成形過程での薄板と金型間の摺動挙動を適正化することで過大なプレス荷重がかからないように成形ストロークを制御しながらプレスすることを特徴としている。従来、成形過程でのパンチスト

ロークのみを制御し段階的に成形する方法やパンチの振動により成形性を改善する方法⁷⁻¹⁰⁾は報告されているが、摺動挙動と連携させ成形限界を拡大しようとする成形方法は初めてである。これまで780 MPa級高張力鋼板を用いた小型深絞り基礎試験では、同一しわ押さえ力 (BHF) で最大プレス荷重を1割程度低減することが可能であり、その分材料の成形限界特性を改善できることが明らかとなった。本技術を活用することにより、これまで780 MPa級の材料までしかプレス加工できなかった難成形部品でも980 MPa級材料までが適用可能性である。

本技術を用いて成形ストロークを制御するためには、サーボプレス機の機能を十分に活用することが必要であり、スチール研究所千葉地区に300tクラスのサーボプレス機を導入し実用化に向けた研究を開始している (Photo 1, 2)。

「JIM-Form」の特長は、以下のとおりである。

- (1) 高張力鋼板のプレス成形性を大幅に向上でき、従来のプレス成形性の観点から適用困難であった自動車部品への高張力鋼板の適用拡大が可能
- (2) 一般の軟質鋼板などを使用する従来の深絞り部品への適用では、成形性向上による部品設計自由度の拡大やプレス成形品の安定生産に寄与
- (3) プレス機のスライド動作を自由に制御可能なサーボブ



Photo 1 Servo press machine installed JIM-Form technology

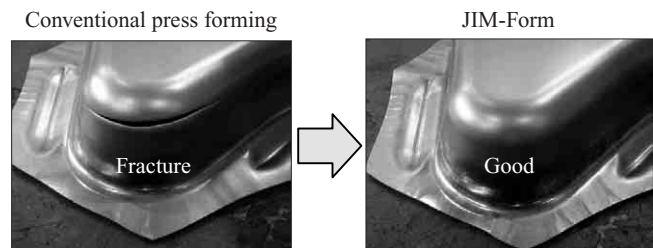


Photo 2 Effect of JIM-Form Technology as compared with conventional press forming

レス機とダイクッションシステムの組み合わせにより「JIM-Form」の自動化が可能であり、従来のプレス加工方法に比べ生産性を大きく損なうことなく自動車部品などの量産技術への適用が比較的容易に実現可能

高張力薄板の加工技術は革新的なサーボ設備の開発により飛躍的に向上し、これまで不可能と考えられてきた難加工部品への材料適用も可能となりつつある。このような加工技術の開発は、車体軽量化をさらに推し進めるための要素技術であり、材料特性の改善と並行して材料提案の付加価値を高めるものとして積極的に進める予定である。

5. 溶接技術

高張力鋼板をより有効に活用するために溶接技術が重要になっている。ここでは、スチール研究所において独自開発した溶接技術について概説する。

自動車の組立て溶接には、この数十年間スポット溶接が最も多く使用されている。昨今の状況から、たとえば、骨格部材では補強板・内板の高強度化と板厚の増加により、薄い外板に対して総板厚（外板＋補強板＋内板）が厚くなり溶接が困難になるという課題が生じてきた。そこで、電動サーボモータで駆動するサーボガン式スポット溶接機を適用した「2段加圧・2段電流」の新溶接プロセス「インテリジェントスポット溶接技術」¹¹⁾を開発し、上記の課題を解決した。また、スポット溶接部の品質検査に関しては、従来より「たがね」と呼ばれるクサビ状の工具を一定量だけ溶接した板と板の間に差込みスポット溶接部を開いて品質を判定するという評価試験法を用いているが、材料の高強度化と厚肉化により、たがねが板-板間に入らない、あるいは板-板間をたがねで開くと溶接部にき裂が発生して強度低下をきたすという問題が生じていた。この問題を解決するために板波透過法を利用した超音波非破壊検査技術を開発した。

高張力鋼板の適用に加えて、さらに軽量化を達成するためには接合強度の増加が望まれる。レーザー溶接は連続溶接のため、スポット（点）溶接に比べて剛性、静的・疲労強度はもとより衝突強度も大幅に向上することが知られており、車体の軽量化に対して高強度薄板の適用効果を増大させるものである。すでに、Volkswagen AG グループにおいて車体の製造にレーザー溶接およびロウ付けが多用されている¹²⁾。たとえば、VW5では、車体の全溶接長の約45%にレーザー溶接を適用した結果、従来車に比べて曲げ剛性35%、ねじり剛性80%の向上が認められ大幅な性能上での改善に加えて、製造工程数の削減、熱ひずみ低減ならびに組立工場の面積削減など、大幅なコストメリットがあると報告されている¹²⁾。しかし、レーザー溶接は設備コストが高いことや溶け落ちやすいため鋼板の隙間を0.2 mm程度以下に厳密に管理しなければならないなどの製造管理上の課

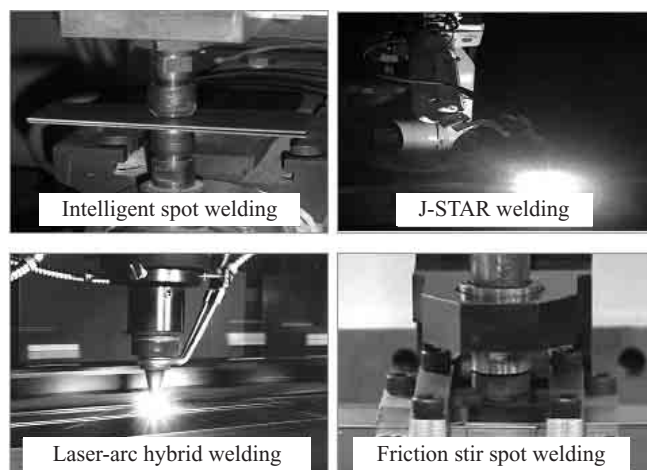


Photo 3 Newly developed welding technologies for assembly of automotive body

題や、亜鉛めっき鋼板の重ね溶接ではブローホール欠陥が発生するなどの品質上の課題¹³⁾がレーザー溶接の適用を制限していた。そこで、これらの課題を解決するため、YAGレーザーとアーク溶接法とを複合化した「レーザー・アークハイブリッド溶接技術」¹⁴⁾を開発した。この技術は、レーザー溶接法と比べて鋼板の隙間余裕度が大きく、亜鉛めっき鋼板の重ね溶接においてもブローホールの発生が抑えられるなどのメリットを有している。加えて、レーザーにアークを併用しているため溶接部の幅が広くなり静的疲労および衝撃強度が向上するなどの性能上のメリットも有する。

足回り部品の溶接には、アーク溶接法が用いられており、以下に示す溶接上の課題がある。

- (1) 品質面では、スパッタの付着により見栄えおよび塗料密着性が低下する。
- (2) 継手性能面では、アーク溶接継手は材料強度を上げても疲労強度はほぼ一定であり高張力鋼板適用のメリットが小さいという課題がある。

これらの課題を解決するために、「J-STAR溶接技術」¹⁵⁾を開発した。この新アーク溶接技術は、溶接ワイヤにアーク発生促進剤であるREMを添加し、現行溶接法と逆の正極性によりスパッタ発生量を10%以下に低減させることができた。また、プラズマ溶接と併用する新溶接プロセス¹⁶⁾により溶接止端部を平滑にすることができ疲労強度を大幅に改善させることができた。

将来技術として既存の溶接法では溶接困難な材料および組み合わせなど、今後の出てくるニーズを先取りして摩擦攪拌点接合技術などの新接合技術の開発も行っている（Photo 3）。

6. Customers' Solution Laboratory (CSL)

自動車メーカーへの積極的な技術PRと部品、車体の共同開発体制の確立、並びに、将来の車造りを会話する場とし



Photo 4 Customers' Solution Laboratory (CSL)



Photo 5 Location of JEVISE Office

て2005年8月にCustomers' Solution Laboratory (CSL)を当社スチール研究所千葉地区内に設立した(Photo 4)。これまで約2年間に800名に及ぶ来訪者を迎え、有意義な議論と共同開発案件を具体的に進めることができています。本施設の特徴は、最大の顧客である自動車メーカ、部品メーカにCSLを訪問していただき、自動車関連の取り巻く当社のアクティビティすべてを説明できることが可能となったことである。これによりユーザが持っている課題に対して迅速な対応が可能となった。また、CSLには、現在製造している材料、設備の展示以外に開発中の材料、評価設備などの機密性の高い展示も合わせて実施しており、将来の車造りに対応した議論ができるよう努めている。開発期間の短縮がますます重要視される時代にユーザニーズをいち早く入手し、それに対する迅速な対応を行うためには、ユーザの方々との日頃からの会話が必要不可欠であり、材料メーカとして軽量化に貢献できる高張力鋼板を提案するためにもこのような活動は今後とも推進していく予定である。

7. ジーバイス株式会社 (JEVISE)

利用評価分野におけるグローバル技術提携体制を確立するためドイツ ThyssenKrupp Steel AG と合弁会社としてジーバイス株式会社 (JEVISE) を2005年6月に設立した。JEVISE とは、Japanese European Early Vendor Involvement Scheme Entity の略であり、その目的は国内自動車メーカを対象に、自動車用材料に関わる情報伝達はもとより車造りのエンジニアリングに関する技術、資源を相互に有効活用し、自動車メーカのグローバル化に対応して迅速にEVI活動を展開することを目的とした会社である。社員は、JFEスチールとThyssenKrupp AG から各50%の割合で派遣構成されており、JFEスチール本社と隣接している(Photo 5)。JEVISEが提案するEVIは、Fig. 6にも示すように、従来の材料メーカが行ってきた材料提供に関連した解析・評価業務もしくはサービス業務ではなく、車造りの設計段階から材料メーカが積極的に自動車軽量化、車体特性評価に対して提案を行い、自動車メーカの設計者にと

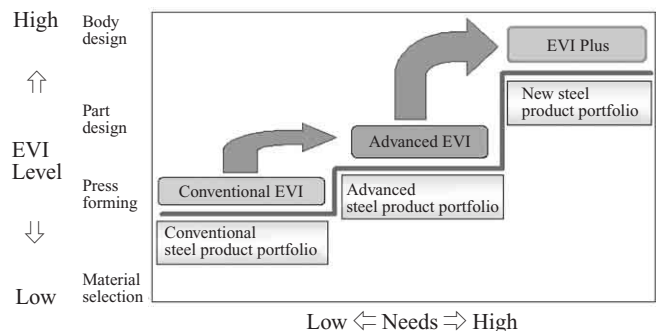


Fig. 6 EVI levels proposed by JEVISE

もに車体開発を実施することを目的としている。これまで欧州で長年培ってきた車体構造製造技術、特に、TWB (tailored welded blank), laser welding 技術, hydroforming 加工技術, roll forming 技術, 構造最適化技術, 製造コスト計算など具体的な製造・評価技術を活用した車体軽量化提案, コスト削減提案が可能であり, 当社のEVI活動を推進していくためにもJEVISEの活動は必要不可欠なものとなっている。

国内自動車メーカがグローバル展開し、全世界で車を生産し始めた現在、材料メーカが相互に情報を共有化し車造りに関する提案を共通の視点で実施できることは、自動車メーカ、材料メーカ双方にとって有益なことであり、国内自動車メーカの海外生産での立ち上げ期間短縮に必ずや効率的な対応ができると確信している。

8. おわりに

高張力鋼板の適用拡大を支える利用技術例として、CAEを活用した予測評価技術、接合技術、ならびにそれらを展開する関連体制を紹介し、当社の利用評価技術への取り組みの姿勢の一端を述べた。今後とも、自動車メーカ、部品メーカとの密接な会話を通じて、部品開発、車体開発に積極的に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 吉武明英, 比良隆明, 平本治郎, JFE 技報, no. 16, 2007, p. 34.

- 2) Sato, Kentaro; Yoshitake, Akihide; Zeng, Dan; Liu, Sheng-Dong. SAE. 2002-01-0641.
- 3) 自動車用材料の高速変形に関する研究会成果報告書. 日本鉄鋼協会, 2001.
- 4) 玉井良清, 山崎雄司, 吉武明英, 井村隆昭. 平 17 春塑加講論. 2005, p. 265-266.
- 5) Tamai, Y.; Yamasaki, Y.; Yoshitake, A.; Imura, T. Technology of improving press formability applying press motion control. IDDRG2006. Proc. of the Conf. of the Int. Deep Drawing Research Group. p. 403-408.
- 6) 玉井良清. 高強度鋼板の難成形部品への適用を拡大するプレス加工技術『JIM-Form』. プレス技術. vol. 45, no. 1, 2007, p. 70-74.
- 7) 片岡征二, 木原諄二, 相澤龍彦, 中田高志, 加藤光吉. 塑性と加工. vol. 35, no. 1, 1994, p. 977.
- 8) 神馬敬, 春日幸生, 岩木信宣, 宮澤修, 森栄司, 伊藤勝彦, 羽田野甫. 塑性と加工. vol. 23, no. 256, 1982, p. 458.
- 9) 金谷康平, 真鍋健一. 平 13 春塑加講論. 2001, p. 299.
- 10) Mori, Tsutomu; Uchida Yukihiko. Proc Int Mach Tool Des Res Conf. vol. 21, 1980, p. 237.
- 11) 沖田泰明, 池田倫正, 小野守章, 安田功一. 溶接学会全国大会講演概要集. no. 78, 2006, p. 164-167.
- 12) Loeffler, Klaus. 第 64 回レーザ加工学会論文集. 2005, p. 1-16.
- 13) 小野守章, 海津享, 大村雅紀, 樺澤真事. 溶接学会論文集. vol. 15, no. 3, 1997, p. 438-444.
- 14) 小野守章, 真保幸雄, 吉武明英, 大村雅紀. 溶接学会論文集. vol. 21, no. 4, 2003, p. 515-521.
- 15) Kataoka, K.; Ikeda, R.; Ono, M.; Yasuda K. Int. Inst. of Welding. IIW Doc. 212-1093-06, 2006.
- 16) 松下宗生, 片岡時彦, 池田倫正, 小野守章, 安田功一. 溶接学会全国講演概要集. no. 80, 2007, p. 12-15.



吉武 明英



安田 功一