

整理番号 2018M-133  
補助事業名 平成30年度 樹脂-金属界面の衝撃強度および繰返し疲労強度の短時間評価技術補助事業  
補助事業者名 中央大学 教授 米津明生

## 1 研究の概要

本研究では、薄膜材料や異種接合材料の衝撃界面強度の評価（密着力）法を非接触レーザー方式で計測する技術を開発した。高エネルギーのパルスレーザーによるアブレーションの衝撃波を駆動力として、接合界面を破壊させる。また数値解析によって界面応力を推定することで、界面強度を算出する方法である。ひずみ速度（変形速度）は、従来の試験法と比較して極めて高いため、超高速負荷における界面強度を測定できる利点を有している。本研究では、軽量構造体に用いられている樹脂—アルミニウム合金の接合体を対象とし、その衝撃界面強度や疲労特性を計測するシステムを構築した。これにより、今後も様々な接合材料の界面強度特性を測定できる指針を示すことができた。

## 2 研究の目的と背景

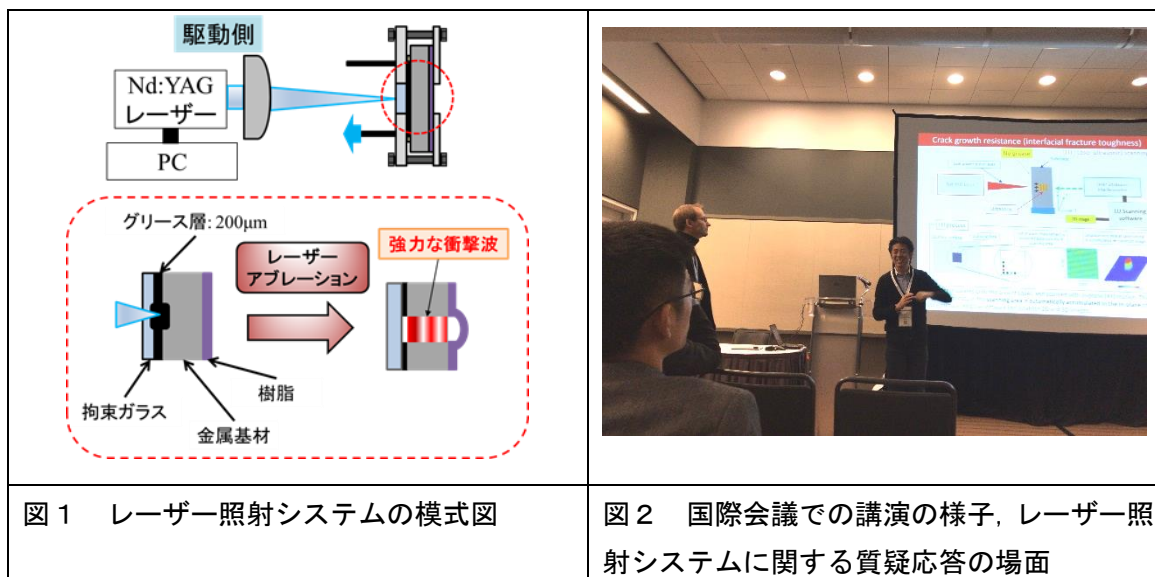
近年、輸送機を始めとする様々な分野で接合材料（マルチマテリアル化）の一つに樹脂接着法が上げられるが、その衝撃強度を測定する技術を開発する。これまで、数多くの検討がなされているが、その多くは接触式試験法であり、試験環境の制御の問題や皮膜の力学特性に影響され、真の界面強度の評価が困難なこと、さらには繰返し負荷による界面の疲労強度や衝撃の界面強度など特殊な力学環境の検討は困難であった。そこで、本研究ではパルスレーザー照射による衝撃波を利用することで、非接触で高速破壊を誘発できる技術を開発することを目的とした。この技術は、試験片寸法の制限や非接触であることから、高温環境や繰返し負荷による強度耐久性を迅速・短時間に評価できる可能性を有している。

## 3 研究内容

レーザー衝撃波を利用した界面強度評価システムの開発

(<http://mater.mech.chuo-u.ac.jp/>)

図1のように、試験片基材背面からパルスレーザーを照射し、レーザー衝撃波を生成する。その応力波が試験片内部を伝播し、界面に引張応力を付与することで剥離（界面破壊）を誘発させる。別途、数値解析（有限要素法）を用いて応力波の伝播を計算することで、界面強度を推定する。すなわち、レーザーアブレーションを用いた界面破壊実験であり、非接触で強度評価を行える特徴を有している。なお、アブレーションを効率的に発生させるためエネルギー吸収層を設けており、また繰返しレーザー照射試験が実施できるように随時吸収層を充填させるためのポンプ循環システムを構築した。そして、めっき膜や樹脂接合界面の強度評価を行い、その成果を図2のように学会発表を行い、国内外から高い評価を得ている。



#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか-展望

近年、接着接合が様々な分野で活用されている。特に自動車や航空機などの輸送機は、燃費を向上させるために車体などの構造体の軽量化が進んでおり、比強度の高い接着接合法の利用が期待されている。しかしながら、接合部では応力特異性を有するため、一般的には強度が低くなる。また、実使用においては衝撃負荷（高速な負荷や変形）や振動による繰返し負荷が想定される。したがって、衝撃負荷や繰返し負荷に対する密着強度を効率よく評価できれば、接合部材の健全性評価、すなわち疲労耐久性や寿命推定が可能になると考えられる。そのような産業的背景に対して、本開発システムは有用であると考え、他の試験手法と比較しても多くの利点を有している。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者は材料力学分野に所属し、固体の変形と破壊の力学に関する研究に従事してきた。これまでコーティング膜の強度に関する研究を行っており、研究成果を挙げてきた。その検討過程で、界面の強度、つまり剥離強度（密着力）に対する検討も必要なり、本事業課題を着想した。補助事業者は、超音波による材料健全性診断による研究も従事しており、そのノウハウも流用することで本課題に取り組んでいる。つまり、補助事業者の研究背景を発展させた内容となっており、強力な衝撃波による界面強度評価を達成できた。この技術により、実社会で必要とされる様々な材料の評価が行えると期待でき、補助事業者の研究がさらに発展できると期待している。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. 齋藤佑朔, 渡邊弘樹, 山田剛史, 米津明生, レーザー誘起超音波を用いたエポキシ系樹脂の密着力評価, 日本機械学会 関東学生会第57回学生員卒業研究発表講演会, 講演番

- 号810.pdf (2018-3) 3/16, 電気通信大学 » [日本機械学会関東学生会BPA賞](#)
2. 渡邊弘樹, 山田剛史, 齋藤佑朔, 米津明生, レーザー誘起超音波を用いた酸化皮膜の界面強度評価, 日本機械学会 関東支部第24期総会・講演会, OS0718.pdf (2018-3) 3/18, 電気通信大学
  3. Akio Yonezu, Hiroki Watanabe, Takeshi Yamada, Yusaku Saito, Quantitative Evaluation of Adhesion Quality of Surface Coating by using Pulse Laser-induced Ultrasonic Waves, The 6th Japan-US NDT Symposium Emerging NDE Capabilities for a Safer World, pp.255-259 No.304-1-8-501046 (2018-7) 7/9, Hawaii Convention Center Oahu, Hawaii, USA
  4. Takeshi Yamada, Hiroki Watanabe, Yusaku Saito, Akio Yonezu, Interfacial Fracture of Surface Coating under Impact Loading Produced by Pulsed Laser Irradiation, The 13th World Congress in Computational Mechanics (WCCMXIII and PANACM II), No.2020976, (2018-7) 7/23, NYC New York, USA
  5. 山田剛史, 齋藤佑朔, 金森公平, 米津明生, レーザー衝撃波を用いた表面皮膜の界面疲労強度評価, 日本機械学会 2018年度茨城講演会, 207.pdf (2018-8) 8/22, 茨城大学 日立キャンパス
  6. 金森公平, 山田剛史, 齋藤佑朔, 米津明生, 繰返しレーザー衝撃波を用いた無電解Ni-Pめっき膜の密着耐久性評価, 日本材料学会関東支部 2018年度学生研究交流会, 発表番号0-11, 中央大, 10/13 (2018) » [日本材料学会関東支部学生研究交流会優秀講演賞](#)
  7. Takeshi Yamada, Yusaku Saito, Kohei Kanamori, Akio Yonezu, Laser Shock Adhesion Test (LaSAT) for Characterizations of Surface Coating Delamination, The 15th Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength (APCFS2018), S3-09(oral), P. 55, Xi'an, China, 10/24 (2018)
  8. 齋藤佑朔, 須藤浩介, 山田剛史, 金森公平, 米津明生, レーザー衝撃波によるエポキシ樹脂系接着剤の衝撃界面強度評価, 日本機械学会 第26回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2018) 第2回若手ポスターシンポジウム, 講演番号915.pdf, 山形大学, 11/3 (2018)
  9. Takeshi Yamada, Yusaku Saito, Kohei Kanamori, Akio Yonezu, Interfacial Strength Evaluation of Surface Coatings by Using Repeated Pulsed Laser Irradiations, ASME2018 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Technical Presentation, (IMECE2018-86494), p. 79, Pittsburgh, Pennsylvania, U. S. A. 11/13 (2018)
  10. Yusaku Saito, Takeshi Yamada, Akio Yonezu, Bonding Strength Evaluation of Al alloy and Epoxy Resin by Using Laser induced Ultrasonic Wave, ASME2018 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Technical Presentation, (IMECE2018-86658), p. 168, Pittsburgh, Pennsylvania, U. S. A. 11/14 (2018)

11. 山田剛史, 齋藤佑朔, 金森公平, 米津明生, レーザー衝撃波を用いた銅メッキの界面強度と耐久性の評価, 日本機械学会 M&M2018材料力学カンファレンス 講演論文集, 講演番号0S0504, pp. 336-339 (0S05-12 - 0S05-15) 福井大, 12/23(2018)
12. 金森公平, 齋藤佑朔, 山田剛史, 米津明生, レーザー衝撃試験を援用した硬質コーティング膜の非接触式密着耐久性評価, 日本非破壊検査協会 第50回応力・ひずみ測定と強度評価(SSE)シンポジウム, pp. 45-48, 機械振興会館(東京), 1/11(2019) [》 学生優秀発表賞](#)
13. 金森公平, 山田剛史, 齋藤佑朔, 米津明生, レーザー超音波法を援用した繰返し負荷を受ける硬質膜の剥離強度評価, 日本非破壊検査協会 第26回超音波による非破壊評価シンポジウム, pp. 55-58, 東京都立産業技術研究センター 青海本部, 1/30(2019) [》 ポスター賞](#)
14. 金森公平, 齋藤佑朔, 山田剛史, 米津明生, 無電解Ni-Pめっき膜の密着耐久性に及ぼす熱処理の影響, 日本機械学会関東学生会 第58回学生員卒業研究発表講演会, 講演番号1107.pdf (2019-3) 3/18, 千葉工業大学 [》 BPA賞](#)
15. 齋藤佑朔, 須藤浩介, 山田剛史, 金森公平, 米津明生, レーザー衝撃波を用いたエポキシ樹脂と金属の界面強度と靱性の評価, 日本機械学会関東支部 第25期総会・講演会, 講演番号19C14.pdf (2019-3) 3/19, 千葉工業大学

## 7 補助事業に係わる成果物

該当なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

団体名： 学校法人中央大学 (チュウオウダイガク)

住所： 〒112-8551

東京都 文京区 春日 1-13-27

担当者名： 教授 米津 明生 (ヨネヅアキオ)

担当部署： 理工学部精密機械工学科 (リコウガクブセイミツキカイコウガッカ)

電話番号： 03-3817-1829

F A X： 03-3817-1820

E-mail： [yonezu@mech.chuo-u.ac.jp](mailto:yonezu@mech.chuo-u.ac.jp)

U R L： <http://mater.mech.chuo-u.ac.jp/>