

MATERIALS and PROCESSING



Materials and Processing
Division Newsletter November 2021

NO.62



日本機械学会
機械材料・材料加工部門ニュースレター

巻頭言

材料・加工・構造物の信頼性を支える評価・
モニタリング技術
～DX 社会の担い手として～



長岡技術科学大学
井原 郁夫

M&P と評価・モニタリング

M&P 部門はその名の通り、材料とその加工を扱う部門である。機械材料と材料加工は何れも機械工学に欠かせない基盤分野の一つであり、社会や産業構造の変遷にともないモノ造りの対象や形態が変わったとしても、素材開発とその加工技術がモノ造りの根幹であることに変わりはない。生産プロセスのIoTが叫ばれ、AIやICTを駆使したそのDX化の潮流の中にあっても、新しい材料を創り、それを加工してモノを創成するという基本的な流れは不変であり、その意味でM&P部門はこれからのニューノーマル社会での機械工学の諸分野において重要な役割を担うことになる。

さて、M&P部門のホームページを眺めると、そのトップページに部門紹介として、本部門が扱う工学領域と応用分野が記載されている(図1参照)。これが公開されてから約10年経つが、その内容は現在でもほとんど色褪せていないように思われる(最近のトレンドを踏まえた新たなキーワードの追記は必要かもしれない)。この図1にも明記されているように、本部門は三本の柱から成っている。すなわち、「機械材料」、「材料加工」そして「特性評価」である。誤解を恐れずに言えば、前二者は部門名称そのものであることから部門を特徴付ける分野として広く認識されているが、「特性評価」は必ずしも本部門に特有の分野ではないため部門内ではやや影が薄いきらいがある。しかし、モノ造りの高度化と新展開には材料とその加工プロセスの実態を的確に把握することが不可欠であり、換言すれば、モノ造りは「材料」、「加工」

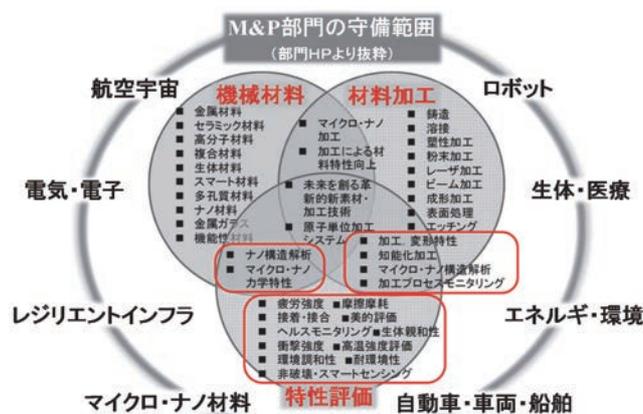


図1 M&P部門が扱う工学領域と応用分野(部門HPより抜粋):
赤枠で囲まれたキーワードは特性評価に関連するもの

および「測定・評価」の三者の融合によって推進され、それら個々の発展がモノ造りの高度化を担うことになる。これを踏まえ、本部門が上記の三分野を三本柱として掲げているのは先見的かつ合理的であると言える。図1において赤枠で囲まれたキーワードは特性評価に関連するものであるが、それらは全体のほぼ三分之一を占めており、本部門では「材料」、「加工」、「測定・評価」の三分野がバランスよく推進されていることがわかる。筆者らは2004年の機械材料・材料加工技術講演会においてオーガナイズドセッション「非破壊評価とモニタリング」を立ち上げ、それ以降、「構造部材や加工プロセスの信頼性を支える計測・評価技術」さらに「材料・加工・構造物の信頼性を支える評価・モニタリング技術」と改名し、現在まで継続的な活動を展開している。上記三分野の研究者が上手く連携することで新たな研究の展開と部門の活性化に繋がることを期待したい。

DX 社会の担い手として

Industry 4.0あるいはSociety 5.0の流れの中で製造技術のデジタル化が急務となっている。近年ではAI導入による経験知のデジタル化が可能となり、材料加工においても作業や工程の合理化が期待されている。すなわち、材料加工プロセスにおけるデジタルツインの活用である。これは高度な知的最適制御を駆使した材料加工の理想形とも言えるもので、デジタルツインは材料科学の分野においても実験室から生産現場まで幅広い適用が期待されている。ここで、高度に洗練された理想的な材料加工・処理を実現するためには、最適条

件をフィジカル空間とサイバー空間の両者の関わりから合理的かつリアルタイムで見出すことがキーポイントとなる(図2参照)。その際、フィジカル空間すなわち実際の材料加工・処理の実態を把握するための計測・モニタリング手段が重要

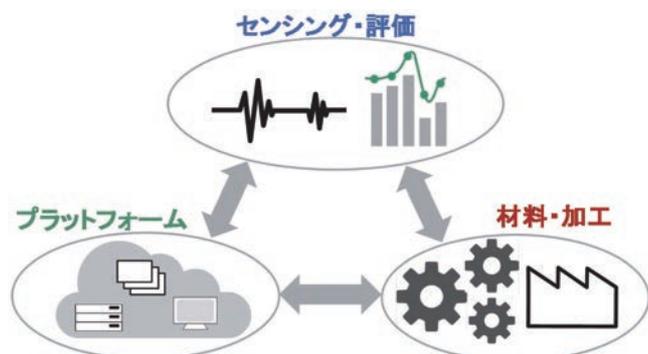


図2 DX時代のM&Pとセンシング・評価

な役割を担うことになる。そのような計測・モニタリング手段は材料加工分野への適用に留まらず、広くモノ造り全般、さらには様々な機械・インフラなど各種構造物の安全確保のための状態モニタリング等にも活用できる。来るべきDX社会の構築にはそのような計測・モニタリング手段の活用が必須となり、適材適所の観点から、それらの要素技術の開発と実用化が急がれる。

本特集号では、材料・加工・構造物の評価・モニタリングに関わる最新の手法や技術について紹介することとした。執筆は当該研究において第一線で活躍されており、M&P部門講演会でのOS実施にも長く貢献されている5名の方々をお願いした。各種の計測や診断手法に携わっておられる方はもちろんのこと、材料あるいは加工がご専門の諸兄に本特集が少しでもお役に立てば幸いである。

最後に、本企画にご協力いただいた関係各位ならびに本特集号の趣旨にご賛同いただき貴重な玉稿をご提供いただいた執筆者各位に深く感謝申し上げます。

■特集：材料・加工・構造物の信頼性を支える評価・モニタリング技術

□ 特集1 アコースティック・エミッション波形の機械学習を用いた構造物の健全性の評価 □

青山学院大学
長 秀雄

アコースティック・エミッション(以下AE)法は、材料内部の微小なき裂の発生・進展に伴うき裂近傍のひずみの急激な解放に伴って発生する弾性波であり、構造物の健全性を評価する非破壊検査法の1つである。図1はアルミニウム合金(A7075)を引張試験したときに検出されたAEであり、音源は材料中の介在物の割れである。AE法は、介在物割れという微小な破壊現象を検出できるほど感度の高い計測法である。また、検出されたAE波形の形状は、音源であるき裂の運動(き裂生成速度や規模、破壊モードなど)や伝搬媒体の弾性的特性および形状、音源と検出点の相対的な位置関係によって決定される。したがってAE波形を検出すれば音源であるき裂の情報を得ることができる。... ことになっている。もちろん、計測する対象が比較的大きくかつ立方体などの比較的単純な形状であり、AE波形を検出するセンサが比較的広い周波数帯域(AEでは1MHz程度で十分)で表面の変位などといった物理量が明確な成分を忠実に計測できれば、音源であるき裂の情報は比較的簡単にかつかなり

正確性をもって評価できる。しかし、構造物に使われている部材は板状であったり、突起や穴など不連続部が存在したりするなどAE波にとってみればかなり複雑な形状である。もちろん現在のコンピュータの技術を用いれば有限要素法などの手法によってAE波形の伝搬経路に対応する応答関数も評価できるはずであるが、あまり行われていない。

現状のAE計測では検出されたAEの振幅(破壊の規模に対応)や周波数(破壊の速さやノイズとの分類)などの波形の特徴量と破壊現象との対応を実験的に評価することで、経時的な構造物の損傷の進展を評価することが試みられている。振幅や周波数以外にも図2に示すような特徴量が存在しており、これらを組み合わせることで破壊現象の分類を行っている。もちろんAE計測においては材料内部の破壊現象以外にも環境に存在するノイズ(ポンプの振動や屋外計測では雨滴など)があるため、これらの弁別のためにも波形の特徴量が使われている。AE波形には破壊の情報が含まれているので、その特徴量にも破壊の特徴が含まれている。そこで、最近ではこれらの特徴量を機械学習することで分類しようとする試みが多くなされており、著者もチャレンジして

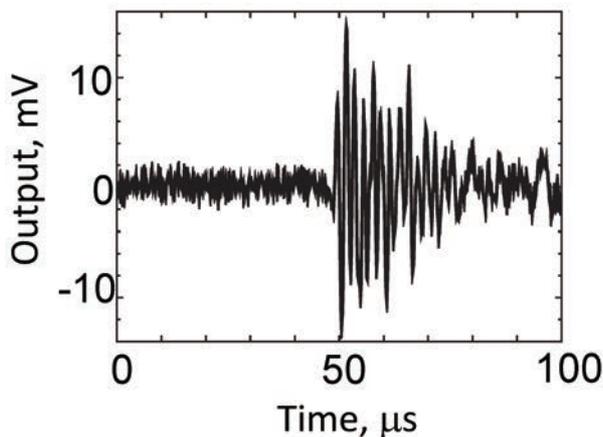


図1 A7075合金内の介在物の割れに伴うAE信号

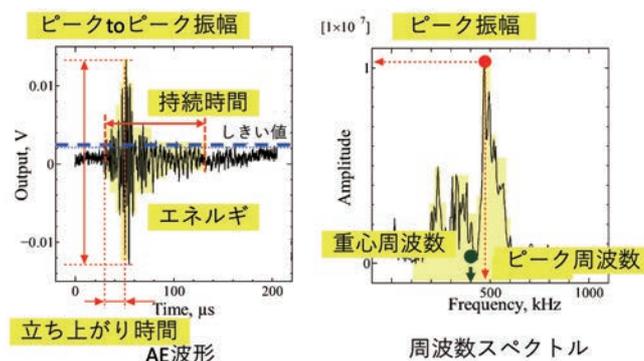


図2 AE信号およびその周波数スペクトルでの特徴量

いる。

そこで今回は炭素繊維強化複合材料 (CFRP) に 3 点曲げしたときに検出された AE 信号から破壊現象の分類を行った結果を紹介する。図 3 に実験の様子を示す。スパン長 100 mm で 3 点曲げ試験を行い、AE センサは荷重点から右に 30 mm、左に 40 mm 離れた位置に設置した。試験片には、幅 50 mm、長さ 120 mm の一方向強化材料 (24 層、厚さ：2.5 mm) を用いた。図 4 は試験時間に対する荷重および累積 AE 発生数である。荷重点の変位速度は 0.5 mm/min である。AE は破断荷重の約 60% 程度から発生し始め、その後荷重とともに AE は比例的に増加し、破断直前 (破断荷重の 98%、図中の赤線) になると急増する。この時点では一部の繊維の破断や繊維と樹脂の大規模のはく離も起こっていると予想される。機械学習では教師ありと教師なし学習があるが、AE ではセンサの種類や配置、材料の特性や形状によって同一の破壊現象であっても波形が変化することから教師あり学習が難しい。そのため教師なしでの分類をすることになる。今回は自己組織化マップ (SOM) 法を用いて分類することを試みた。SOM 法では図 5 に示すように 2 次

元に配置されたノード上に多次元の特徴量を有するノードと入力データの類似度を用いて評価する手法であり、隣接するノードには類似度の高いデータが配置される。詳細については参考文献(1)を参考されたいが、SOM はニューラルネットワークの一種であり、各ノードに配置した初期値に対して各イベントの特徴と類似度の最も高いノード (勝者ノード) を選択し、勝者ノードを含む周辺のノード値を勝者ノードと各イベントとの差に基づいて更新することで学習する方法である。この場合、勝者ノード周辺のノードの更新量は、勝者ノードのからの距離とともに低下し、またその範囲は学習回数とともに小さくなる。

図 5 は、学習後に得られた特徴量マップであり、各特徴量の大きさを扇型で表現しており、類似した特徴が隣接し、徐々に変化していることがわかる。図 6 は、各 AE イベントを所属するノード内にプロットしたものである。ノード内のシンボルの位置に意味はない。赤、青のシンボルは破断荷重の 98% 以前と以後の AE イベントを示している。破断荷重の 98% 以下の荷重での AE は右上に領域に多くが存在し、破断荷重の 98% 以降は下側の領域に広く存在している。SOM 法ではノードに AE イベントがプロットされてい

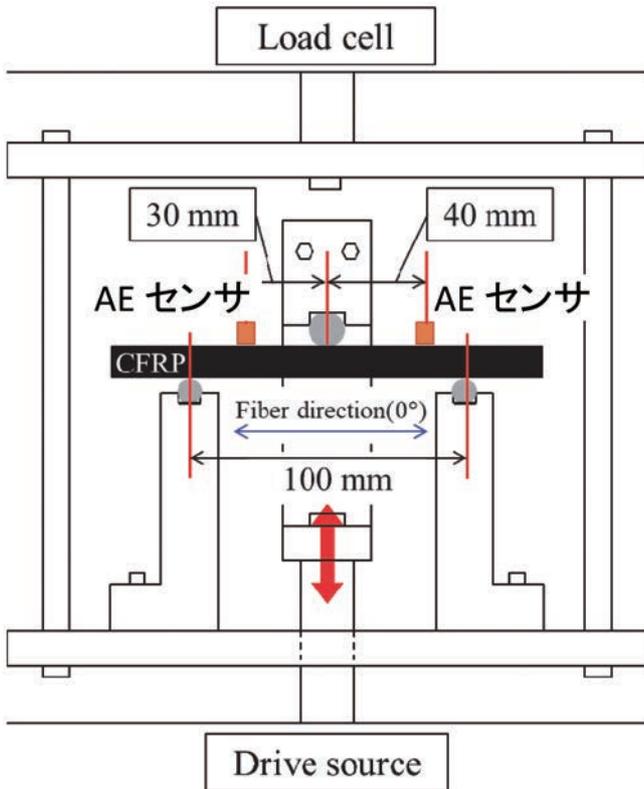


図 3 3 点曲げ試験および AE センサ配置

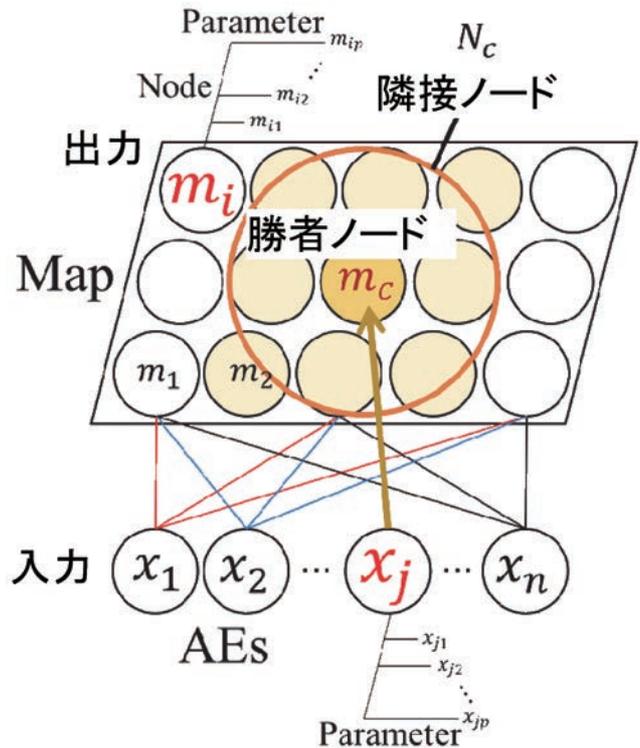


図 5 自己組織化マップ法の概念図

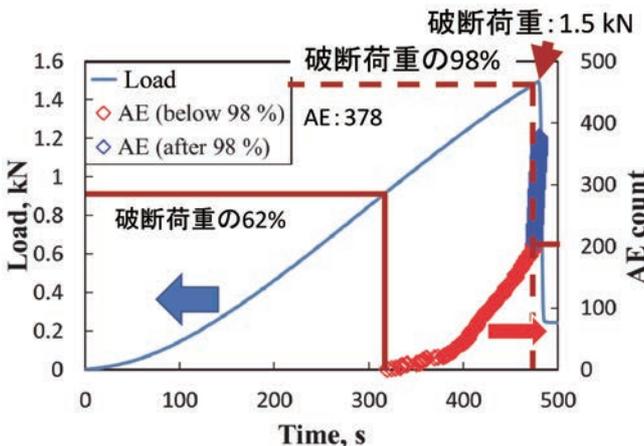


図 4 静的 3 点曲げ試験での荷重および AE 累積発生数

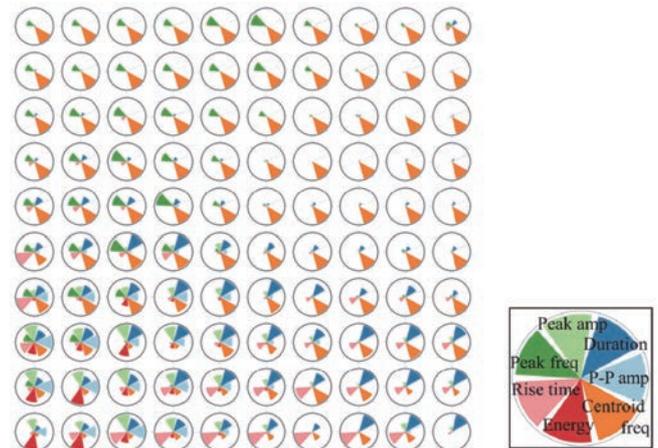
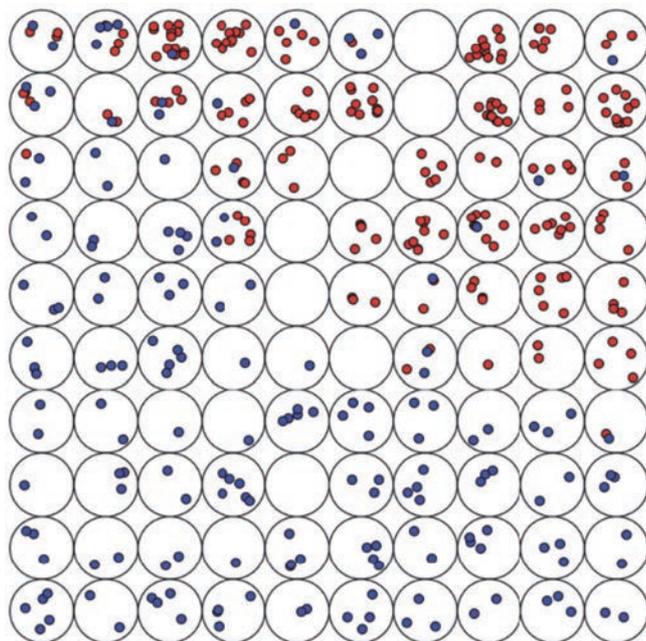


図 6 学習後のマップの特徴量と特徴量割当て

ない部分が境界になりうるが、明瞭な境界を自動的に決定できない。そこで、ここでは境界を決定するために図5で示した学習後のノードの特徴量を K-means 法で分類することを試みた。K-means 法ではあらかじめ分類するクラスター数を決定する必要があるが、クラスター数はデータ自身の特性で決めるべきものである。そこで本研究ではクラスター数を 2~10 まで変えて K-means 法を行い、それぞれのクラスター数の作成したクラスターの妥当性をシルエット数、カリンスキー数、Davies-Bouldin 数、Tou 数を用いて評価し、クラスター数を決定した。それぞれの指標は、クラスター間の分離度やクラスター内の集中度などを異なる視点で示しており、すべての指標で最適なクラスター数が一致しない場合が多い。そこで、各指標において 2~10 までのクラスター数に対して最適度の順位で 1 位を 10 点、2 位を 9 点、9 位を 2 点とし、それらの合計点数からクラスター数を判断する。図7は各指標で求めた各クラスター数の点数である。今回は、合計点数の最も高いクラスター数は 4 となった。

図8は SOM マップの特徴をクラスター数=4 として K-means 法で境界を決定したのち、各 AE イベントをプロットした結果である。破断荷重の 98% 以下で検出された AE



- 破断荷重の98%以下のAE
- 破断荷重の98%以降のAE

図7 学習後のマップによる AE の分類

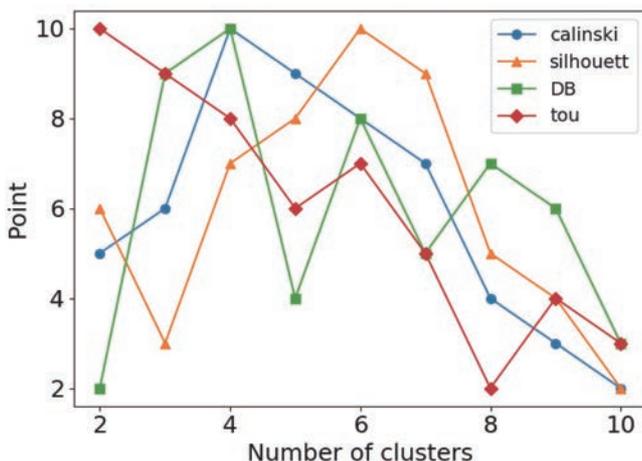


図8 クラスタ数とクラスタ妥当性パラメータの順位ポイント

のほとんどはクラスター A および B に、破断荷重の 98% 以上で検出された AE はクラスター C および D に分類されている。また図9にクラスターごとの累積 AE 発生数を負荷荷重の関数と示す。クラスター A,B の AE は、AE 発生初期から破断まで連続的に検出されたのに対してクラスター C,D は破断直前のみ発生していることからクラスター A,B はマトリックスクラックや繊維/樹脂界面のはく離、クラスター C,D は層間のはく離や繊維破断に対応していると考えられる。試験後に荷重線から 2 mm 離れた荷重線と平行な断面の観察 (図10) をしたところ、曲げの圧縮側において屈曲したとき裂が確認された。これは曲げの圧縮による座屈によって複数のき裂が発生し、連結したためと考えられる。つまり、先行して発生したマトリックス割れや繊維/樹脂界面のはく離を連結するようにはく離が発生し、最終的には繊維破断が起こったと考えれば各クラスターとの対応もとれる。次に 3 点曲げで得られた SOM マップを用いて 3 点曲げの繰り返し荷重 (疲労) 中に発生した AE の分類を試みた。同様な試験片に静的荷重で AE が検出され始めた荷重 (925 N) を平均荷重とし、最大荷重 1200 N、荷重比 0.5 で繰り返し周期 1 Hz で試験を行った。図11に負荷の繰り返し数と 1 サイクルあたりの AE 発生数を示す。図中の実線は荷重点変位の最大値である。今回は荷重制御で試験をおこなっていることから荷重点変位振幅の増加は、き裂の発生に伴う試験片の剛性の低下を意味する。AE は試験片の剛性が急激に低下する直前から発生し始め、剛性の低下とともに発生頻度が上昇し、最終的には 655 個の AE を検出した。また、AE は破断繰り返し数 (N=51686) の 99.8% 以降のみ検出された。そこで検出された AE を発生初期 (stage I)、発生頻度上昇期 (stage II)、剛性の急激な低下期 (stage III) に分けて分類を行った。分類は前述した静的荷重試験によって得られた AE を用いた作成した SOM マップ (図5を K-means 法による境界を決定したもので図8

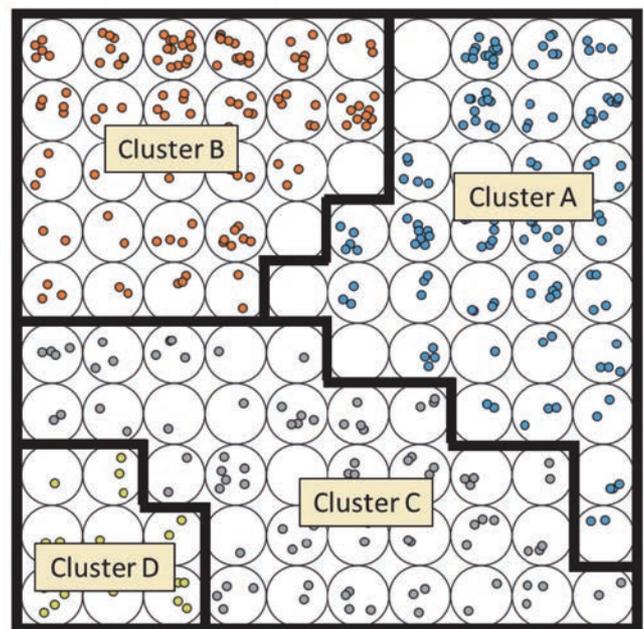


図9 クラスタ数=4 としてクラスタ境界を決定した SOM マップと AE イベント



図10 静的三転曲げ試験後の断面写真 (荷重点から 2 mm)

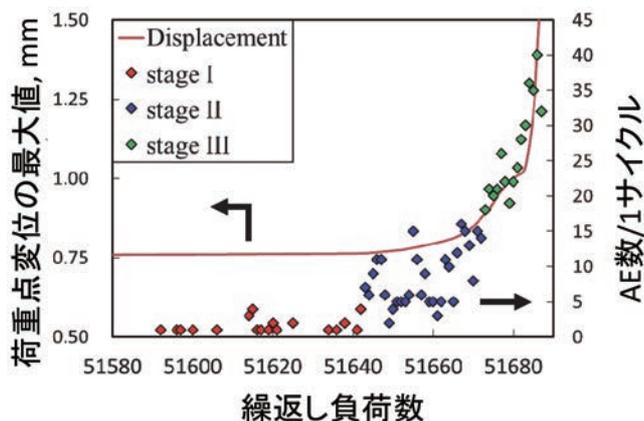


図 11 静的三転曲げ試験後の断面写真
(荷重点から 2 mm)

に対応) を用いて分類を行った. その結果を図 12 に示す. Stage I (赤シンボル) の AE はクラスター A に多く観察され, Stage II (青シンボル) の AE はクラスター A, B, C に, Stage III (緑シンボル) はクラスターすべてのクラスターに存在し, クラスター D の AE は, ほぼ Stage III の AE であった. つまり, 初期の AE はマトリックスクラック, その後クラスター D を除く AE が発生し, 最終段階ではクラスター D の AE も検出されるようになっていた. つまり, クリティカルな損傷であるクラスター D の AE が発生していた. つまり, 負荷形態の異なる試験であってもき裂自体が発生する AE の特徴には変化がないため分類が行えたと考えてもよい.

このように AE では教師データをあらかじめ用意することができないため, 確度の高い分類をするには, 破面観察や異なる負荷形態での試験結果など複数の情報に基づく総合的な判断が必要となるが, AE は構造物の状態の 1 次的な診断や健全性のスクリーニングなどには必要な評価手段であると考えられ, 今後, 適用範囲が広がっていくことを期待して

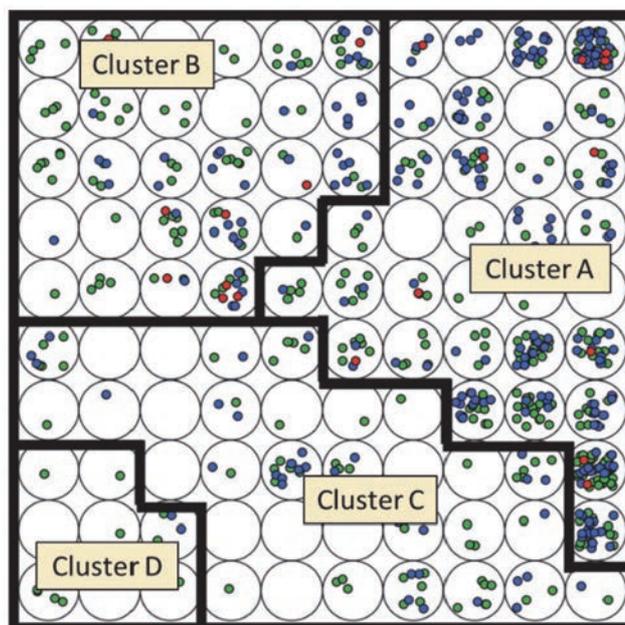


図 12 繰返し負荷時に検出された AE の分類
(SOM マップは引張試験に作成したもの)

いる. そのために AE 波形を自動的な判別する技術がさらに進歩する必要がある. 様々な分類手段や新しい特徴量を採用する必要があると思っており, 研究を続けている. もし, AE に興味があればぜひお声をかけていただきたく, よろしくお願ひします.

参考文献

- (1) 徳高平蔵, 藤村喜久郎, 自己組織化マップ (SOM) とその応用, 日本ファジィ学会誌, Vol.13, No.4 PP.345-355 (2001).

□ 特集 2 750℃ の高温環境にも適用可能な 光ファイバ超音波センサに基づく構造物の健全性診断技術 □

東京大学
岡部 洋二

1. はじめに

構造部材の健全性を診断するための非破壊検査技術やモニタリング技術は, その高性能化が進んでいるが, 高温状態や特殊環境下でも使用可能な手法は, まだ十分に確立されていない. 特に超音波を用いた検査システムでは, 通常, 圧電セラミックス PZT 製の超音波センサが用いられているが, 約 200℃ 以上の高温になると圧電効果が消失するため, 高温環境で直接使用することができない. そのため火力発電設備のボイラー等の 700~800℃ の高温環境下で運用される構造物に対しては, 構造物の運用を停止して常温環境まで冷却した後検査しなければならない.

その一方で著者らはこれまで, 構造物の検査を目的とした光ファイバ超音波センサの研究開発に取り組んできた. これにより, 石英ガラス製の光ファイバが耐えられる環境であれば, 高温などの特殊環境でも, 超音波を計測することが可能となった. そこで現在, JST の A-STEP 産学共同<育成型>のプログラムの下で, 高温環境に適用可能な健全性診断技術の構築を試みている. 特に, 750℃ レベルの高温環境で

も使用可能なアコースティック・エミッション (AE) 法による損傷発生モニタリングと, レーザー超音波可視化検査法に基づく高温での非破壊検査の実現に取り組んでいる. これにより, 高温環境での状態監視に基づきながら, 高温のまま非破壊検査を行うことで, 高温構造物の検査や故障にともなうダウンタイムコストを大幅に低減できる健全性診断技術の確立を目指している.

2. 光ファイバ超音波センサ

光ファイバセンサによる超音波受信については, 干渉計型等の幾つかの方法が存在するが, 中でも, 外乱の影響を受けずに安定した計測が可能な FBG (Fiber Bragg grating) センサの適用が広く研究されている. しかしながら, 通常の FBG センサでは, その反射光スペクトルのエッジの傾斜とセンサ長の関係により, 超音波受信における広帯域性と高感度化の両立が困難である.

そのため著者らは, 位相シフト FBG (PSFBG: Phase-shifted FBG) を超音波受信センサに用いている¹⁾. PSFBG

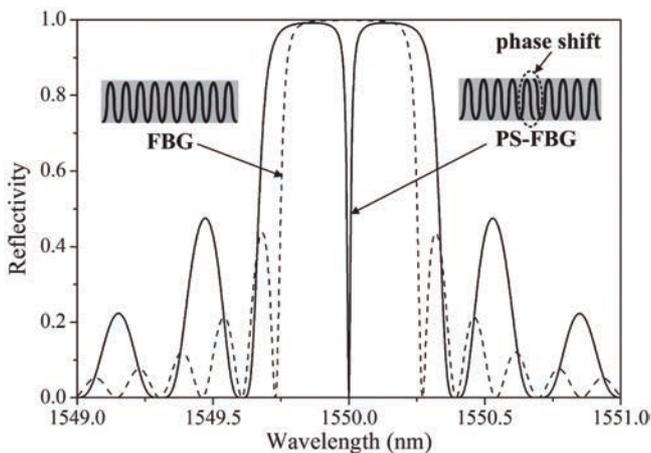


図1 FBGとPSFBGの反射光スペクトルの理論計算結果

は図1に示すように、一般的なFBGの中央部において屈折率変動に180°の位相シフトを導入することで形成される。この位相シフト点を導入すると、図1の反射光スペクトルの数値計算結果に示す通り、一般的なFBGのスペクトルの中央に急激に反射率が低下した鋭い谷が現れる。この谷の極めて急な傾斜を利用することで、超音波受信の感度を向上させることができる。しかも、この谷はPSFBGの位相シフトにより生じているため、PSFBGの有効センサ長は位相シフト点近傍のみの極めて微小な領域（ミクロンオーダー）となる。そのため、波長の短い超音波にも感度良く応答し、極めて広い周波数帯域にわたって超音波を受信できる。

3. 高温環境での遠隔 AE 計測

前述の通り、PSFBG センサは極めて高感度かつ広帯域にわたって超音波を受信することが可能である。そのため、CFRP 積層板中に発生する微弱な AE 波についても、正確に波形を捉えることができていた²⁾。そこでさらに、光ファイバの高い耐熱性を活かして、高温環境中の構造物に発生する AE 波を受信することを試みている。

ただし、石英ガラス製の光ファイバ自体は 1000℃ レベルの高温に耐えられるが、光ファイバ中に UV 照射によって形成された FBG は、約 600℃ 以上になると反射率が低下し始め、約 900℃ 以上で完全に消失してしまう。この高温での消失は、PSFBG でも同様に生じる。そのため、PSFBG センサ部は高温環境から離して、600℃ 以下の環境に設置しておく必要がある。そこで著者らは、遠隔 AE 計測のための PSFBG センサ設置法を提案してきた³⁾。その構成を図2に示す。

光ファイバを1点で構造物に接着し、PSFBG センサ部は高温環境から離れた位置に配置しておく。そして、損傷発生にともなって AE 波が励起されると、構造物中をガイド波として伝播し、接着点を介して光ファイバに伝播する際に、縦波と横波に変換される。その後、光ファイバに沿って PSFBG センサ部まで伝播すると、縦波のみが選択的に受信される。よって、接着点からセンサ部までは分散性のない単一の縦波による伝播とみなせるため、波形は変化せず、PSFBG センサによって接着点での AE 波形を遠隔で正確に計測することができる。

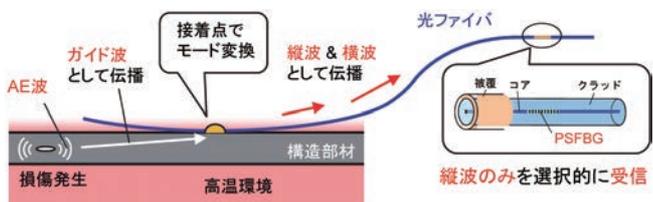


図2 高温環境での遠隔 AE 計測法の構成図

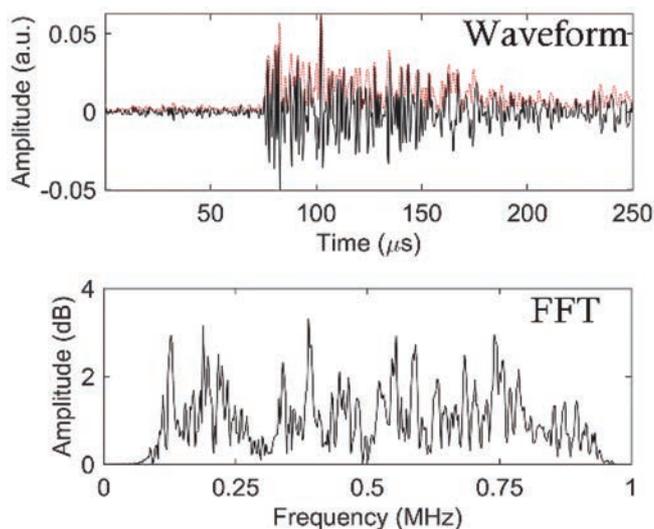


図3 1000℃の大気環境中で三点曲げ試験によってC/Cコンポジットに発生させたAE波の遠隔計測結果：(上)AEの受信波形とその包絡線、(下)受信波形のフーリエスペクトラム

計測結果の一例として、1000℃の大気環境中でC/Cコンポジットに対して三点曲げ試験を行いながら、PSFBG センサによって遠隔で計測した AE 波形とそのフーリエスペクトルを図3に示す。このように、本手法によって、1000℃の高温で発生した広帯域な AE 波形を正確に受信できていることがわかる。

4. 高温環境でのレーザー超音波可視化法による損傷検出

前述の AE 計測による受動的な損傷発生モニタリングに加え、レーザー超音波法と組み合わせることで、能動的な超音波非破壊検査を実現することも試みている。

図4に、レーザー超音波可視化検査装置（つくばテクノロジー(株)、LUVI-CP）の受信側に光ファイバ超音波センサの遠隔計測システムを組み込んだ構成図を示す。ここで、レーザー超音波可視化検査装置の概要を説明する。本装置は、レーザーを対象構造物の表面に照射することで超音波を励起し、構造物に沿ってガイド波として伝播させた後に、離れた位置に固定したセンサで受信をする。そして、レーザー照射点を構造物表面に沿って走査しながら、各位置で発生させたガイド波を同一のセンサで全て受信し終わった後に、全ての波形データを二次元グラフ上に色の濃淡として同時にプロットすることで、センサ位置からレーザー走査領域全体にガイド波が伝播していく挙動を動画で表示することができる装置である。そしてその動画上で、ガイド波の伝播挙動の変化を調べることで、構造物の内部欠陥を検出することが可能となる。そこで図4に示すように、このレーザー超音波可視化

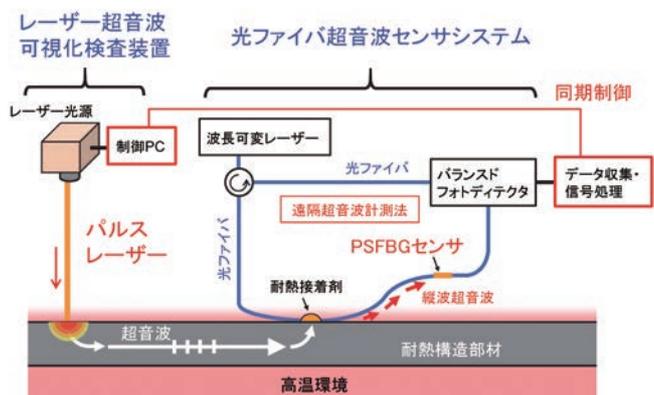


図4 レーザー超音波可視化検査装置と光ファイバ超音波センサシステムを統合させた高温用超音波可視化検査システム

検査装置に光ファイバ超音波センサを組み込むと、高温環境下にある構造物に対しても、離れた位置からレーザーを照射することで超音波を励起でき、構造物を伝播したガイド波を、高温のまま光ファイバ超音波センサで受信できるため、高温での超音波非破壊検査が可能となる。

実際に、SiC セラミックス板 (厚さ 1 mm, 長さ 150 mm, 幅 20 mm) を 1000℃ に加熱した状態で、本システムにより超音波伝播挙動の可視化を試みた結果⁴⁾を図 5 に示す。図 5(a) が実際に用いたセラミックス板の裏面の写真であり、光ファイバを 1 点で接着している。そして、この表面にレーザーを照射して走査しながら取得した超音波可視化動画から、異なる時刻の画像を抽出した結果が図 5(b) である。このように、光ファイバ接着位置から板全体に超音波ガイド波が伝播していく様子を明確に観察できている。さらにこの板の側面には人工的に切り欠き損傷を導入しているが、この動画に三次元フーリエ変換に基づいたデータ処理を施し、下方方向に伝播する成分のみを抽出すると、図 5(c) に示す通り、この切り欠き損傷からの反射波を極めて明確に観察することができている。よって、1000℃ の高温環境下にある構造物に対しても、超音波による損傷検出が可能となる。

5. 実用化に向けての取り組み

本稿では 1000℃ での計測結果を示しているが、これらは実際には光ファイバの樹脂被覆が消失した状態で実験を行っている。しかし実用化を進める上では、高温でも光ファイバを保護し続けられる高耐熱性の被覆が必要となる。また、PSFBG センサを遠隔で設置するよりも、アニーリングで再生 PSFBG にすることで耐熱性を持たせ、センサ部を高温環境に直接設置できることが望ましい。そのため現在、本研究は、A-STEP 産学共同<育成型>のプロジェクトとして、750℃ の耐熱性を有する光ファイバ被覆の確立、再生 PSFBG によるセンサ自体への高耐熱性の付与、そして 1 本の光ファイバに多点の PSFBG センサを設けることによる複数センサ設置法、といった実用上重要な 3 点の課題を中心として研究開発に取り組んでいる。

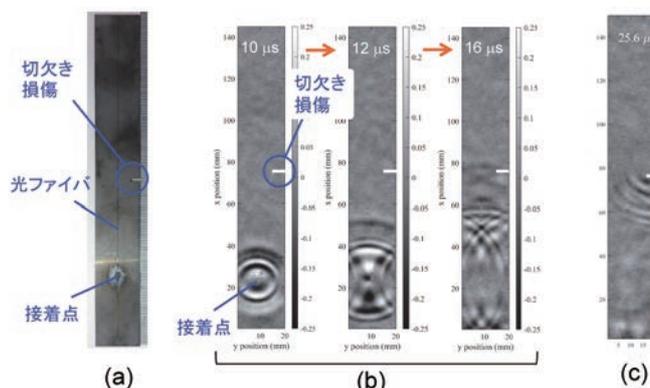


図 5 1000℃ に加熱したセラミックス板での超音波可視化結果：(a) セラミックス板の裏面写真、(b) 可視化動画からの抽出画像、(c) データ処理により抽出した損傷からの反射波

参考文献

- (1) Q. Wu and Y. Okabe, "High-sensitivity ultrasonic phase-shifted fiber Bragg grating balanced sensing system," *Optics Express*, 20(27), 28353–28362(2012)
- (2) F. Yu, Y. Okabe, Q. Wu, and N. Shigeta, "A novel method of identifying damage types in carbon fiber-reinforced plastic cross-ply laminates based on acoustic emission detection using a fiber-optic sensor," *Composites Science and Technology*, 135(27), 116–122(2016)
- (3) F. Yu, Y. Okabe, Q. Wu, and N. Shigeta, "Fiber-optic sensor-based remote acoustic emission measurement of composites," *Smart Materials and Structures*, 25(10), 105033(2016)
- (4) F. Yu, O. Saito, and Y. Okabe, "An ultrasonic visualization system using a fiber-optic Bragg grating sensor and its application to damage detection at a temperature of 1000℃," *Mechanical Systems and Signal Processing*, 147, 107140(2021)

□ 特集 3 インフラ補修管理のための超音波検査技術 □

大阪産業大学
和田 明浩

1. はじめに

FRP (Fiber Reinforced Plastics) は、軽量のプラスチック基材をベースとし、強度・剛性の向上を目的として、繊維状強化材を含有させた構造材料である。FRP はプラスチック由来の優れた耐食性を有し、現場施工にも適していることから、近年社会問題化しているインフラ構造物の補修材として活用されている^{1),2)}。老朽化した下水道管の内側に新しい FRP パイプを形成する管更生工法もその一例である。

下水道整備は昭和 45 年頃から全国的に進み、都市部ではその整備がほぼ完了した。令和元年時点における全国の下水道管渠の総延長は約 48 万 km であり、そのうち標準耐用年数 50 年を経過した管渠は約 2.2 万 km (総延長の 5%)、10 年後は 7.6 万 km (16%)、20 年後は 17 万 km (35%) と今後は急増することが予想されている³⁾。老朽化した下水道管は道路陥没事故の要因となり、全国で年間 3,000 件超の事故報告がある。

老朽管への対策方法として、従来は開削工法により老朽管を新設管に置き換える工事が行われていたが、近年、経済性

の観点から管路の補修方法として「管更生工法」の適用が進んでいる。管更生工法の 1 つに GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics) を用いた工法がある。本工法では、既設管内部で GFRP 管を現場成形するため、施工管理が不十分な場合、成形不良が発生する危険性がある。本稿では、GFRP 製更生管の施工不良を防ぐ取り組みとして、樹脂硬化状態を超音波により非破壊検査する手法について紹介する。

2. 下水道の管更生工法

GFRP を用いた管更生工法では、図 1 のように老朽管内部に未硬化の円筒状 GFRP シートを引き込み、蒸気で管内面に圧着、加熱硬化させて管内で GFRP パイプを形成する。この際、地下水の影響などで加熱が不十分になると、図 2(a) のような樹脂未硬化領域が形成され、更生管の強度低下を引き起こす可能性がある。また、この工法では管内面からの片側加熱となるため、加熱不足により、図 2(b) のような板厚方向の樹脂硬化度分布が発生する可能性もある。現在は、施工後に TV カメラによる管内部の観察が行われているが、



図1 GFRPを用いた管更生工法の模式図

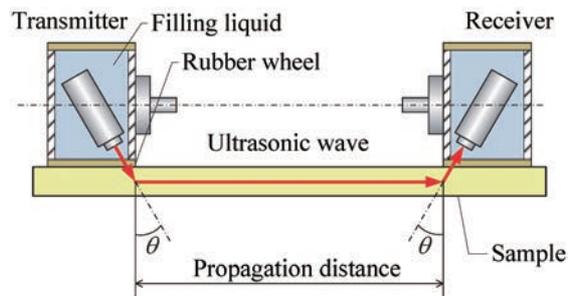


図3 タイヤ型探触子による検査概念図

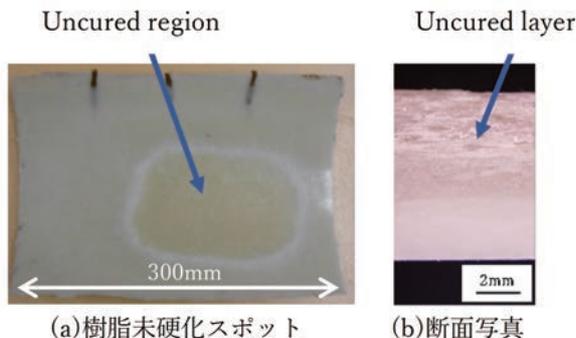


図2 GFRP板の硬化不良例

カメラ画像だけから樹脂未硬化を判定することは困難である。そこで、管内で成形したGFRP製パイプが十分な強度を発揮するまで硬化しているかを非破壊検査することが求められおり、超音波による検査法が検討されている。

3. 超音波検査による施工管理の試み

材料物性の非破壊検査法の中で、超音波検査は装置の小型化が容易で現場への適用性に優れるためフィールド検査に多用されている。金属材料など均質性が高く超音波の減衰が少ない材料の場合は、数十MHz程度の超音波を利用した高分解能な検査が可能である。しかし、FRPのように材料内部に超音波の散乱源が多数存在している場合、1MHz以下の比較的低い周波数の超音波の利用が求められ、必然的に空間分解能の低下が避けられない。このため、FRPの超音波検査においては、材料内の単一の欠陥探査のような手法は適用できず、材料を透過した超音波の分析が求められる。

実験室レベルでは、C-Scanのように水槽中で超音波探触子を平面走査することで、詳細な材料評価が可能である。しかし、下水道更生管の場合、試料を水没させることができず、探触子を広範囲に走査することも困難である。このような制約の大きい検査環境下において、広範囲を効率よく検査する手法としてタイヤ型探触子を用いた検査法がある。図3はタイヤ型探触子を用いた検査の概念図である。タイヤ内部に探触子を斜角で配置し、内部に液体を充填することで超音波がタイヤ表面に斜角入射する仕組みとなっている。入射された超音波は材料中をガイド波として伝播する。材料表面に対する探触子の姿勢は常に一定に保たれており、タイヤ部分のみを材料表面上で転がしながら検査することで、広範囲を短時間で検査できる。図4は、タイヤ型探触子を搭載した管内検査ロボットの実例である。

タイヤ型探触子を用いた検査では、タイヤと被検査材の接触状態が計測に影響を与え、計測位置ごとの超音波送受信効率のゆらぎが検査精度を低下させる恐れがある。図5は、面内方向に樹脂硬化度分布を有するGFRP板の超音波測定結果である。実線で示した受信波強度は右側の未硬化領域で大きく低下しているが、左側の硬化領域においてもデータのばらつきが大きい。一方、破線は著者が提案する受信波形の特徴を抽出した新たなパラメータ⁴⁾の変化を表している。このパラメータを用いることで、硬化領域でのばらつきを抑

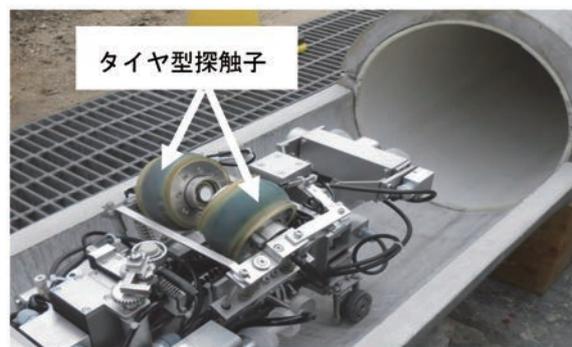
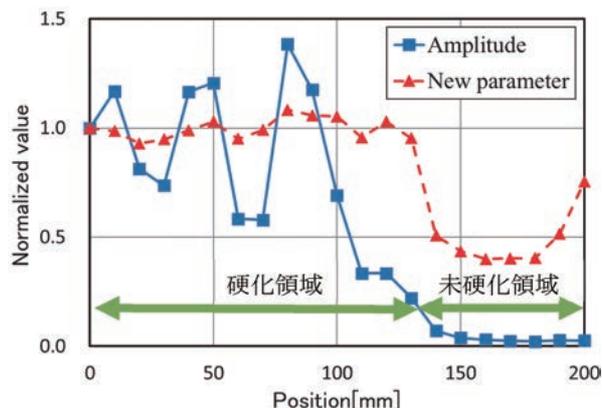
図4 タイヤ型探触子を用いた検査ロボット
(芦森工業株式会社 提供)

図5 タイヤ型探触子による超音波測定結果

制でき、安定した検査が可能となる。

4. FDTDシミュレーションによる未硬化層評価

板厚方向に樹脂硬化度分布を有するGFRP板においては、完全硬化板のガイド波伝播とは異なる波動伝播形態が予想される。ここでは、FDTD法(Finite Difference Time Domain Method)を用いて片面に未硬化層を有するGFRP板の超音波伝播シミュレーションを行った事例を紹介する。

固体の波動現象を扱う場合、従来の差分解析では変位のみを変数とする2階微分方程式を扱っていたが、FDTD法では応力と変位を個別に扱うことで1階の微分方程式を差分近似し、蛙飛び差分スキームを適用することで計算誤差を低減できる。図6は、樹脂の未硬化に伴う超音波の減衰を考慮し、運動方程式に減衰項を導入した波動伝播シミュレーション結果である³⁾。下水道更生管の超音波検査を想定して、硬化面側から超音波入射している。未硬化層で超音波が著しく減衰するため、硬化層付近に波が局在化しており、擬似表面波の様相を呈している。また、未硬化層厚さにより波の浸透深さが異なることも確認できる。

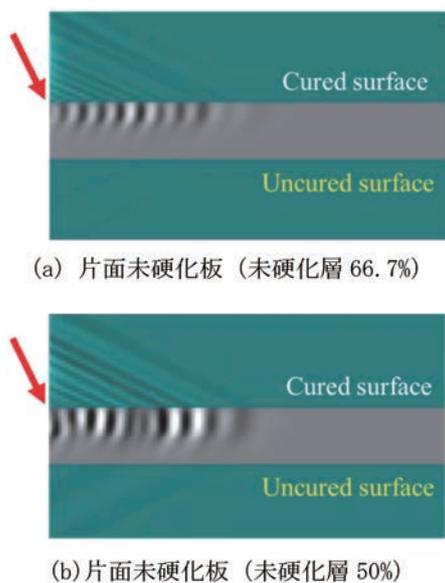


図6 GFRP板のFDTDシミュレーション結果

5. おわりに

インフラ補修へのFRPの適用は、今後益々拡大していくことが予想される。現場成形されたFRPの健全性保証には

非破壊検査技術は必須であり、本稿で示した超音波検査手法は有力な選択肢となる。また、FDTDシミュレーションのさらなる高精度化により、超音波検査結果のより詳細なデータ分析が可能となれば、樹脂未硬化層の形成有無やその厚さ評価への応用が期待される。

参考文献

- 1) 田中常雄, 谷木謙介, 小島信男, 木村耕三, 勝俣英雄, 炭素繊維による鉄筋コンクリート構造物の補強工法, 日本複合材料学会誌, Vol.20, No.4 (1994), pp.168-169.
- 2) 土井至朗, 松岡茂, 増田彰久, FRPシートを用いたRC柱の耐震補強効果に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2 (2004), pp.1729-1734.
- 3) 国土交通省 Web ページ, 下水道の維持管理, https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd_sewage_tk_000135.html (2021.10 閲覧).
- 4) 和田明浩, 山崎友裕, 北川英二, 伊藤博, 超音波を用いた下水管更生用GFRP成形板の硬化不良検出, 日本複合材料学会誌, Vol.41, No.4 (2015), pp.128-137.
- 5) 和田明浩, 松木将哉, 早稲田一嘉, 北川英二, 「板厚方向に樹脂硬化度分布を有するGFRP板の未硬化層厚さが超音波伝播特性に与える影響」, 第12回日本複合材料合同会議講演論文集 (2021.3), 3D-01.

□ 特集4 光ファイバセンサを用いたFRPの成形・健全性モニタリング技術 □

高知工科大学

高坂 達郎

1. はじめに

比強度、比剛性や耐久性に優れた繊維強化プラスチック (FRP: Fiber Reinforced Plastics) は、様々な分野で活用され、構造の軽量化に大きく寄与している。一方で、FRP部材に生じる損傷の発生・進展プロセスは複雑であり、特に炭素繊維を強化材としたCFRP (Carbon FRP) では目に見えない内部損傷が生じるため、その信頼性向上のために非破壊検査手法の適用が必須となっている。しかし、時間のかかる定期検査は運用コストを増大させるため、できるだけ容易かつ短時間で行うことが可能な検査手法の確立が求められている。また、FRPは製造時においても不適切な成形条件で欠陥が生じ易く、歩留まりの高い製造のためには最適な成形条件を求めることが必要である。これらの問題を解決する手法として、組み込みセンサを用いたリアルタイム成形・健全性モニタリング手法が提案されている。これまで様々な手法が提案されているが、本稿では光ファイバセンサを用いたモニタリング手法を紹介する。

光ファイバは典型的な直径が125 μmの光導波路であり、FRPへの埋め込み性に優れ、重量も軽いことからFRP部材のリアルタイムモニタリングに適している。表1に代表

表1 代表的な光ファイバセンサ

種類	測定量	応用
分光計型	分光スペクトル	硬化・樹脂劣化
反射計型	屈折率	樹脂含浸, 硬化
FBG	温度, ひずみ	硬化, 健全性
EFPI	ひずみ	健全性
分布型	温度, ひずみ	樹脂含浸, 硬化, 健全性

的な光ファイバセンサを示す。分光計型および反射計型のセンサは、分光スペクトルや樹脂屈折率から、熱硬化型樹脂の硬化度を測定するのに用いられる。FBG (Fiber Bragg Grating) やEFPI (Extrinsic Fabry-Perot Interferometer) は温度またはひずみを高精度で測定できる。分布型センサは、センサに沿って数十mの範囲の温度およびひずみ分布を測定できる。センサそれぞれに得意とする応用分野があり、目的に適したセンサを用いることが重要である。

2. フレネル反射型屈折率センサ

フレネル反射型屈折率センサの構造は、図1に示す様に非常にシンプルで、平面切断した光ファイバの端面で生じるフレネル反射強度から樹脂屈折率を測定するものである。樹脂の硬化進展によって樹脂屈折率が上昇するため、測定値から硬化度を得ることが出来る。図2はフレネル反射型屈折率センサとDSC (Differential Scanning Calorimeter) によって測定したエポキシ樹脂の硬化度曲線であり、昇温速度に関わらず両者が非常によく一致しており、高精度で樹脂硬化度のリアルタイムモニタリングが可能であることが分かった¹⁾。さらに本センサは、様々なFRPの硬化度測定にも応

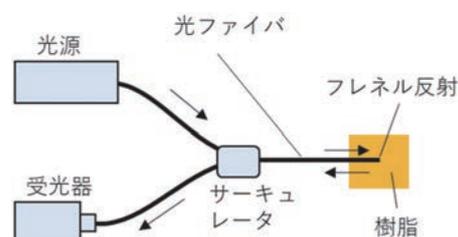


図1 フレネル反射型屈折率センサ

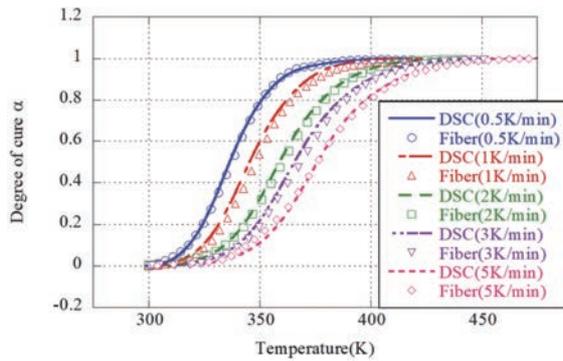


図2 フレネル反射型屈折率センサと DSC によって測定したエポキシ樹脂の硬化度曲線¹⁾

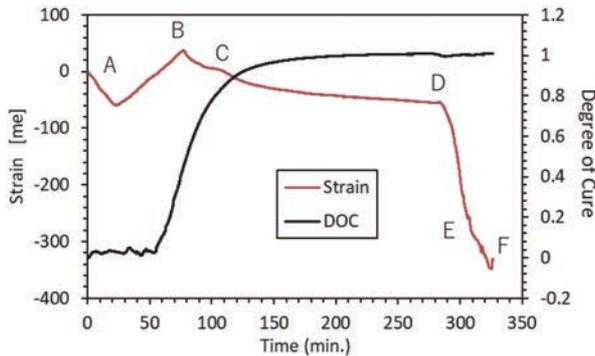


図3 FBG センサで測定した CFRP の成形ひずみと硬化度²⁾

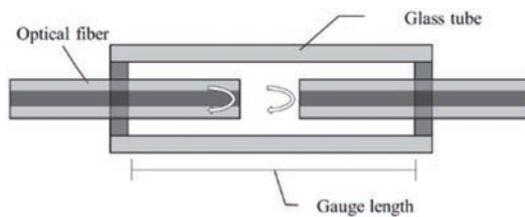


図4 EFPI センサの構造

用可能であることが示されている。

3. FBG センサ

FBG センサは、コアに周期的な屈折率変化を持たせてブラッグ回折格子を構成したものであり、広帯域光を入射すると狭帯域光が反射する光フィルタである。温度とひずみの変化によりシフトする反射光波長から、温度とひずみをそれぞれ 0.1℃、1 με の精度で測定することが出来る。比較的強度が高いため扱いやすく、また多点化が容易であるというメリットが出来る。

図3は、FBG センサで測定した一方向 CFRP の成形ひずみと硬化度を成形時間に対してプロットしたものである。温度が一定となつてからの硬化収縮のみによるひずみ変化(図中 C-D)は 50 με 程度と非常に小さいが、FBG の高い安定性と高精度により、FRP の硬化収縮の振る舞いが明確に捉えられていることが分かった²⁾。

4. EFPI センサ

EFPI センサは、図4に示すように二本の光ファイバをガラスチューブ内で空隙を挟んで突き合わせた構造を持つ干渉計型センサである。EFPI センサの特徴は、精度が非常に高く温度に鈍感であることにある。ゲージ長を大きくとることによって、FBG を大きく上回る高精度が実現できる。その反面センサ部が壊れやすく、埋め込みが難しいという欠点もある。図4は、一方向 CFRP に埋め込まれた 30 mm のゲージ長を持つ EFPI によって測定されたひずみ高周波変動を

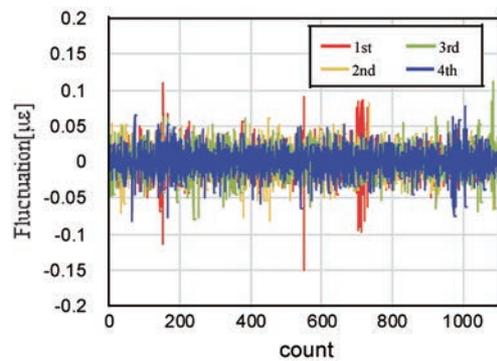


図5 CFRP に埋め込まれた EFPI センサのひずみ変動 (ゲージ長 30 mm)³⁾

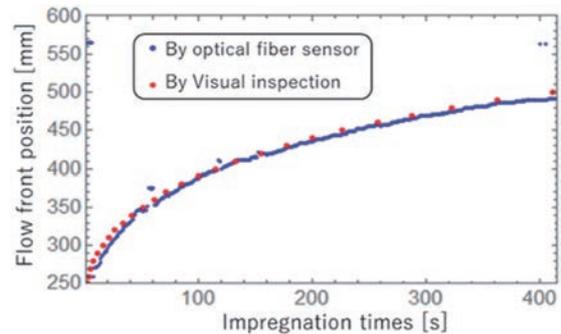


図6 レイリー散乱型分布センサを用いた GFRP 樹脂含浸時のフローフロント位置測定結果⁴⁾

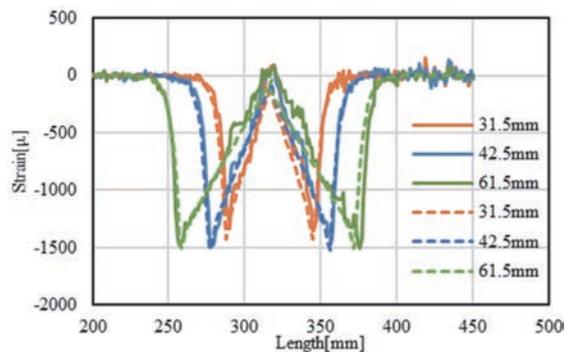


図7 CFRP の DCB 試験における表面ひずみ分の布測定および解析結果⁵⁾

プロットしたものである。図より、0.05 με 以下という非常に高い安定性で、微小なひずみ測定が可能であることが分かった³⁾。

5. レイリー散乱型分布センサ

レイリー散乱型分布センサは、光ファイバに生じる後方レイリー散乱光強度の長さ方向分布を測定し、その空間周波数のシフト量からひずみ分解能 1 με、温度分解能 0.1℃ で温度とひずみの分布測定が可能なセンサである。このセンサの最も大きい特徴は、数十 m という長い測定範囲と 1 mm という高い空間分解能を併せ持つことである。この特徴を生かせば、ひずみ分布だけでなく、樹脂含浸時のフローフロントや層間剥離位置の測定が可能になる。

図6はガラスプリフォームに埋めたセンサを用いた、VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) GFRP のフローフロント位置の測定結果であり、センサによる位置同定結果と目視観察結果は互いによく一致していた⁴⁾。図7は、CFRP の DCB 試験における表面ひずみ分の布測定および解析結果であり、どちらの結果においても剥離先端位置でひずみが鋭い極値を示すことが明らかに分かっ

た⁵⁾。

参考文献

- 1) 高坂ほか, M&P 2015, 広島 (2016)
- 2) T. Kosaka, et al, 2015 SEM Annual Conf Expos, Costa

- Mesa, CA, USA (2015)
- 3) A. Itaya et al, JISSE-17, Tokyo (2021)
- 4) T. Kosaka et al, JISSE-17, Tokyo (2021)
- 5) 高坂ほか, JCCM 12, (2020)

□ 特集 5 AE 法を用いた鋼製構造物の腐食状態評価技術 □

明治大学
松尾 卓摩

1. はじめに

大型構造物や橋梁などのインフラ設備は高い信頼性、安全性が要求される。しかし、現在日本における多く設備では高経年化の問題が発生している。特に鋼製構造物の腐食の問題は、海に囲まれ湿度の高い日本では、これまでに多くの事故原因となっている。そこで、これらの鋼製構造物の安全管理技術は必要不可欠である¹⁾。しかし、これら大型構造物の検査には時間やコストがかかるため、広範囲を簡便に検査できるツールが求められている。

そこで私たちの研究室では、広範囲を計測できる手法の一つとしてアコースティックエミッション (AE) 法²⁾を用いた腐食状態評価手法についての研究を行ってきた。AE は材料内で発生する微小なき裂や変形によって生じる弾性波を検出する手法であり、材料内部で発生した損傷をリアルタイムで検出することが可能である。AE 法を用いることで外部からは検出が難しい塗装下や保温材下の腐食や配管の内面で腐食が発生した場合においても検出が可能となる。また、複数のセンサを設置することで大型構造物への適用が可能となり、AE 信号の到達時間から損傷発生位置の特定なども可能となる。本稿では、これまでに私たちの研究室で行ってきた鋼の大気腐食の検出及び評価技術について紹介する。

2. 弾性波の伝搬モードを用いた腐食減肉量の推定技術³⁾

薄板や薄肉円筒を伝播する弾性波は伝搬速度が周波数依存性を有する。また、鋼管を例に説明すると肉厚の中心に近い位置で励起した弾性波では肉厚中心に対して対称に変形するモード (L モード) が強く励起され、表面付近で励起された波では L モードは微弱で、非対称な曲げモード (F モード) が支配的となる⁴⁾。これらの性質を用いて AE 計測によって検出した AE 波に L モード、F モードのそれぞれの強度の振幅比を調べることで腐食が表面のみで発生している状態か、腐食が進行している状態であるかを推定することができる。

図 1 上段に肉厚 7 mm の配管表面に深さ 0.5 mm (減肉比 7.0%) 及び 3.5 mm (減肉比 50%) の初期欠陥を付与した写真を示す。これらの切削部に塩水を噴霧して腐食を促進させた (図 1 下部)。そして、図 2 に示すように錆の成長に伴う自壊によって AE を発生させた。発生した AE の代表的な波形及びウェーブレット変換によって特定の周波数を抽出した結果を図 3 に示す。減肉量が少ない鋼管から発生した AE 波は波形初動部の L (0,1) モードに対して、その後到達している F (1,1) モードの強度が強い一方で、減肉量が多い管では振幅がほぼ同一となっている。このように、腐食発生個所から検出される AE 波の特徴を抽出することで腐食状態を推定可能である。しかし、この手法を適用するためには、腐食位置からセンサまでの距離の情報が必要となるため、音源位置標定技術などと併用する必要がある。また、錆は今回の例では図 4 に示すように切削部に錆こぶが発生した状態となっており、錆から発生する AE は錆と鋼界面

だけでなく錆内部からも発生する。そこで腐食状態の評価精度を向上させるためにはある程度数の AE 波を検出して、結果を平均化する必要がある。

3. 熱サイクル付与による AE 発生頻度の制御手法⁵⁾

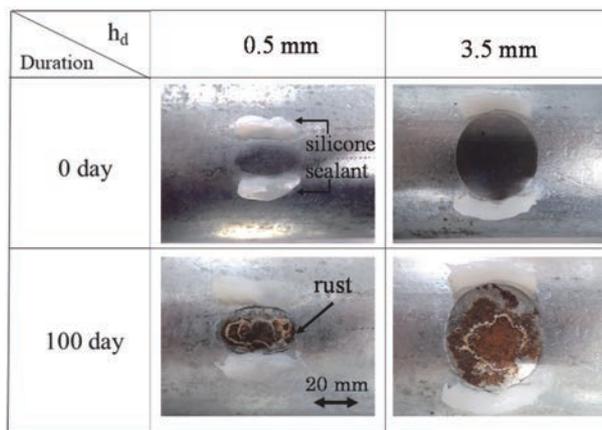


図 1 実験前及び 100 日後の腐食状態の表面写真

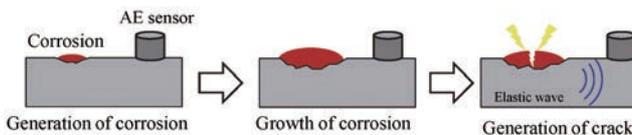


図 2 錆から AE が発生するメカニズム

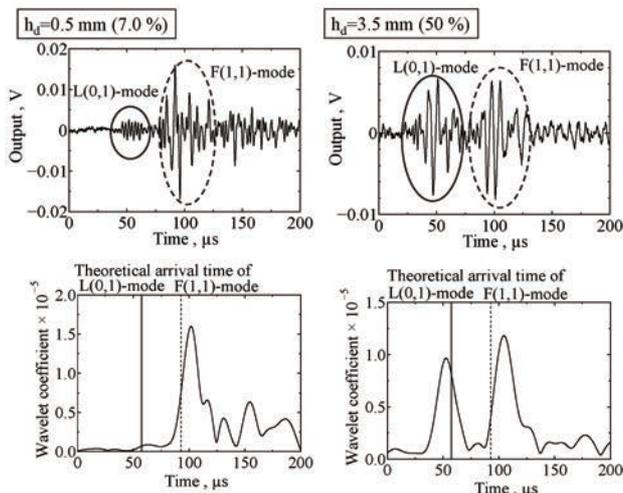


図 3 それぞれの減肉部から発生した AE 信号 (上) とその周波数スペクトル (下) の代表例

前節で示したように、AE を用いた腐食状態推定にはある程度の AE イベント数が必要となる。しかし、錆から発生する AE は錆の成長に伴う自壊であることから、短時間に多くの AE を発生させることは難しいため、計測が長期間となることが問題となる。そこで著者らは熱負荷を与えて錆の割れを促進させることによって短期間で腐食位置から発生する AE を用いて、腐食状態を評価する手法を構築した。図 5 に、図 1 の腐食部を赤外線ランプで加熱して室温（約 25℃）から約 80℃ まで加熱して、常温に戻す熱サイクルを付与した場合の累積 AE イベント数と鋼管の温度履歴を示す。1 時間程度の加熱で 200 イベント近い AE を検出した。熱サイクルを付与せずに塩水滴下による腐食試験では 200 イベントの AE を検出するためには実験開始から約 1 か月必要であったことから、短期間で効率的に AE を計測できることが明らかとなった。

4. ドローンを用いた非接触 AE 計測技術の開発⁶⁾

一般的に用いる AE 計測技術は接触式のセンサを用いる。この方法ではプラント設備や橋梁などでの計測を行うためには高所のセンサを設置する必要があり、設置コストや作業の安全性の問題が発生する。そこで著者らはドローンを用いて非接触で AE を計測する方法の開発を行った。システムの概要は図 6 に示すように空中超音波探触子をドローンに搭載して AE を計測する。ここで、空中超音波探触子は一般的な AE センサと比較して検出感度が低いことに加えて、ドローン自体から発生する稼働音によるノイズを除去するために、リアルタイムでノイズを除去できるシステムを搭載したデジタイザを開発して、AE 信号の計測を行う。

構築したシステムを用いて、錆の割れによって発生した AE 信号を検出した実験装置図を図 7 に示す。薄板の一部を腐食させた後、前章と同様に赤外線ランプで熱サイクルを付与することで錆の割れを促進させた。AE はドローンに搭載したセンサ及び接触式の市販 AE センサを用いて計測した。なお、今回示すデータは同時に計測するとドローン稼働音によって接触式の AE センサではノイズが重畳するため、別々に計測を行った。

実験中に計測した AE のうち、振幅の大きな代表的な AE 波形とその周波数スペクトルを図 8 に示す。同時に計測し

た AE ではないため単純な比較はできないが、ノイズ低減処理を行った場合でも市販の AE センサよりも感度は低い傾向であった。また、空中伝搬超音波探触子は検出可能周波数が狭いため、検出できる周波数が限定されていた。すなわち、微弱な AE 信号の検出は難しいと考えられるが、錆の割れのような比較的大きな破壊現象によって生じる AE 信号であれば検出できることが分かり、今後センサの設置が難しい箇所における AE 計測において有効な手法となる可能性を示した。

5. おわりに

アコースティックエミッション (AE) 法を用いて腐食の検出や状態評価に関する技術を紹介した。従来の AE 計測手法と比較して短期間で評価が可能になったことから、スクリーニングや大まかな状態評価については非常に有効なツ

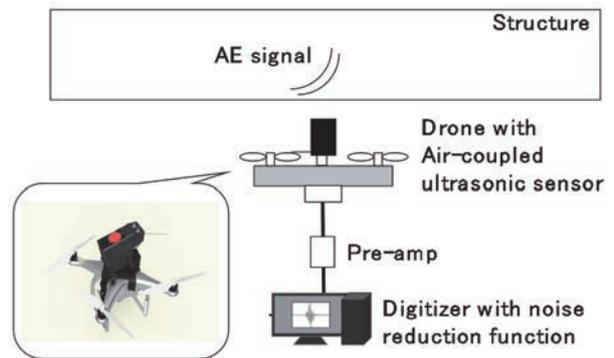


図 6 ドローンを用いた AE 計測システム

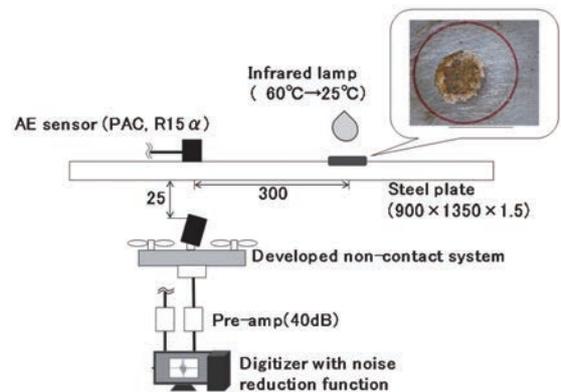


図 7 非接触 AE 計測実験装置図

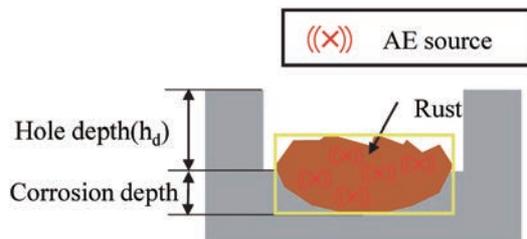


図 4 錆部から発生する AE 信号の発生位置の模式図

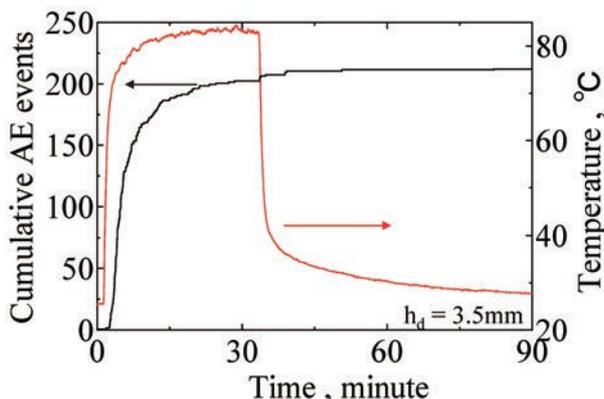


図 5 腐食部に熱サイクルを付与した際の累積 AE イベント数と表面温度履歴の一例

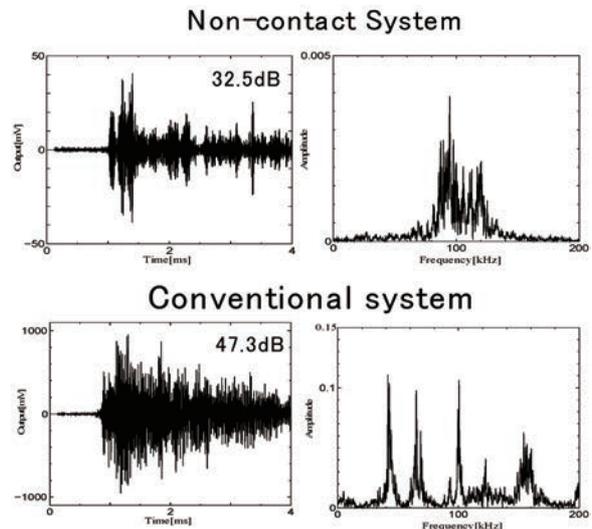


図 8 検出した AE 波及び周波数スペクトルの例

ルとなり得る技術である。今後より定量的な評価に向けてさらなる検討を行う予定である。また、ドローンを用いた手法については、今後高所における計測を安全に行うことができる可能性があり、実用化に向けてさらに研究を進めていく。

参考文献

- 1) 水谷義弘, よくわかる非破壊検査の基礎と仕組み, 秀和システム, (2010).
- 2) 非破壊検査協会編, アコースティックエミッション試験 II, 非破壊検査協会, (2008).
- 3) 栗原ら, 材料と環境, Vol. 68, No. 12, pp. 342-346.
- 4) J.L. Rose, Ultrasonic Waves in Solid Media, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, (2004).
- 5) 栗原ら, 材料と環境, Vol. 70, No. 2, pp. 40-46.
- 6) 松尾卓摩, 検査技術, Vol. 26, No. 11, pp. 8-12.

機械材料・材料加工部門「部門賞・一般表彰」公募のお知らせ

第3技術委員会(表彰担当)
委員長 秦 誠一(名古屋大学)

機械材料・材料加工部門では、第99期部門賞および部門一般表彰候補を下記の要領で公募します。自薦他薦を問わず奮ってご応募下さい。

*公募締切: 2021年12月10日(金) 厳守

*推薦書類: 部門賞の推薦には、部門ホームページ (<http://jsmempd.com/award/award-notification>) より申請用紙をダウンロードし、ご記入後下記へお送り下さい。
また、一般表彰の推薦には、件名を「部門一般表彰推薦」としたメールに、(1) 賞の種別(優秀講演論文, 奨励講演論文, 新技術開発), (2) M&Pでの講演番号と登壇者, (3) 講演表題を記入して、下記にお送り下さい。

*被推薦者資格: 各賞とも日本機械学会会員であることが受賞資格となります。

*推薦書提出先: 日本機械学会機械材料・材料加工部門(担当者 川崎さおり)
下記宛に電子メール(PDF)にてご提出ください。
電話 050-3506-5976, E-mail: kawasaki@jsmeor.jp

推薦された候補者は第3技術委員会で審査され、部門運営委員会で受賞者を決定します。結果は今年度中に本人に連絡し、次期(2022年度)のニューズレターに掲載するとともに、受賞者を2022年度年次大会開催時に表彰する予定です。なお、本件に関するご質問・お問合せ等は、第3技術委員会委員長(秦 誠一, E-mail: seiichihata@mae.nagoya-u.ac.jp)までお願いします。

各賞の概要

- (1) 功績賞: 機械材料・材料加工分野に関する学術, 教育, 出版, 内外の交流など諸般の活動において、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。
- (2) 業績賞: 機械材料・材料加工分野に関する研究または技術開発において、本部門関連の講演会, 学術論文誌での発表, 受賞など顕著な業績のあった者に授与する。
- (3) 国際賞: 機械材料・材料加工分野における学術, 教育,
- 出版などに関する国際的な活動を通し、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。
- (4) 部門一般表彰(優秀講演論文部門): 2021年度に開催された機械材料・材料加工技術講演会において発表された機械材料・材料加工分野の講演論文中、学術・技術の進歩発展に寄与したと認められる論文の著者を対象とする。
- (5) 部門一般表彰(奨励講演論文部門): 2021年度に開催された機械材料・材料加工技術講演会において発表された機械材料・材料加工分野の講演論文中、将来当分野の学術・技術の進歩発展に寄与すると期待される若手講演登壇者(2022年4月1日現在において32歳以下の者)を対象とする。
- (6) 部門一般表彰(新技術開発部門): 機械材料・材料加工分野において本部門企画, 担当, 主催または共催の集会, 出版物等において発表された新技術, 新製品の開発者中、工業技術の進歩発展に特に貢献した者を対象とする。

2021年度年次大会開催報告

第99期第1技術委員会(年次大会担当)
委員長 山崎 泰広(千葉大学)

去る2021年9月5日(日)~8日(水)の4日間の日程で2021年度年次大会が千葉大学を会場に開催されました。本年こそはと通常開催を検討してきましたが、新型コロナウイルスの蔓延防止に配慮して特別講演を除いてオンラインでの開催となりました。そのため、部門同好会などの行事は

残念ながら開催できず、楽しみにされていた委員の皆様には申し訳ございませんでした。オンライン開催となりましたが4日間の期間中に878件の講演発表があり、1654名の方(有料参加登録者)にご参加いただきました。

昨年度の大会に引き続きオンラインでの講演発表となった



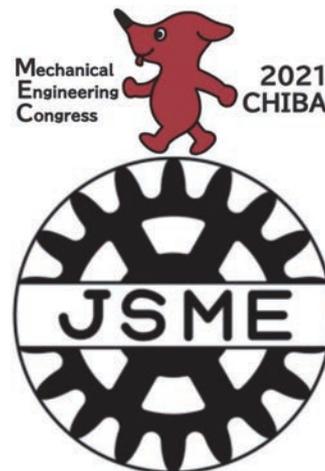
会場となった千葉大学西千葉キャンパス

ことから、学生会員の発表を含めて全ての講演が oral presentation 形式で実施されました。2021 年度大会では、以下に示すように機械材料・材料加工部門の関係する単独オーガナイズドセッションと部門横断的・分野融合的なオーガナイズドセッションに加え、基調講演、先端技術フォーラム、部門横断的・分野融合的なワークショップなど多数の企画を開催させていただきました。昨今の学会がオンラインで実施されていることもあり、大きなトラブルもなく盛況に終えることができましたこと、ご参加いただきました皆様に感謝を申し上げます。一方で、オンライン開催では個別・濃密な質疑が難しく、情報交換・交流の深化が課題として残ったのも事実です。今後もオンサイトとオンラインのハイブリッド開催が選択肢として残っていくと思わしますので、解決したい課題として次期委員長の富山大学・増田健一先生に引継ぎをさせていただきます。と考えております。

末筆になりますが、ご参加いただきました委員の皆様重ねて御礼申し上げます。

オーガナイズドセッション

- [S 041] 薄膜・厚膜コーティングとその諸特性
- [S 042] 伝統産業工学
- [J 031] 工業材料の変形特性・強度およびそのモデル化
- [J 043] 異種材料の界面強度評価と接合技術
- [J 044] 超音波計測・解析法の新展開
- [J 045] セラミックスおよびセラミックス系複合材料



千葉県のマスコットキャラクターチーバ君を組み込んだ大会ロゴマーク

- [J 023] バイオマテリアルおよび細胞／組織のプロセス・力学・強度
 - [J 131] マイクロナノ理工学：nm から mm までの表面制御とその応用
 - [J 133] 加工技術の最前線
 - [J 123] 価値の共創と共存に 1 DCAE・MBD が果たす役割
 - [J 181] 交通・物流機械の自動運転
 - [J 223] マイクロ・ナノ機械デバイスとその信頼性
- S：部門単独セッション，J：部門横断セッション

特別企画ワークショップ

「機械・インフラの保守・保全、信頼性強化～DX 社会は機械学会に何を望む?～」

(学会横断テーマ)

先端技術フォーラム

「新産業革命をもたらす複合材料技術」(講演 4 件)
「M&P 最前線」(講演 4 件)

基調講演

「微細加工を応用した AI 時代の材料探索」
「繊維強化複合材料の力学的特性評価」

2022 年度年次大会のご案内と企画のご提案のお願い

第 1 技術委員会 (年次大会担当)

増田 健一 (富山大学)

山崎 泰広 (千葉大学)

2022 年 9 月 11 日 (日) から 14 日 (水) までの 4 日間 (ただし、11 日 (日) は市民開放行事の開催を予定) にわたり富山大学五福キャンパス (富山県富山市五福 3190 番地) を会場として、日本機械学会 2022 年度年次大会が開催される予定です。2022 年度年次大会では「シンギュラリティがもたらす機械工学の未来」をキャッチフレーズとして、「アフターコロナにおける機械工学」、「DX による機械技術の革新」、「SDGs への対応」の 3 テーマを掲げ、講演および各種企画を実施する予定です。千葉大学で開催された 2021 年度大会は残念ながら新型コロナウイルス感染症の影響を受けてオンライン形式での開催となってしまいましたが、2022 年度大会は通常の対面形式の講演会と懇親会および部門同好会の開催に向け、現在、準備を進めているところです (開催形式の正式決定は年明けを予定しているとのことです)。

これまで本部門では単独で、あるいは、他部門と協力しながら多数の企画を提案・実施してきました。最近の年次大会で本部門が参画した主なオーガナイズドセッションを下記に示します。下記に示す通り幅広いテーマのセッションが多数開催されており、貴重な情報交換の場となってきました。

- 次世代 3D プリンティング
- 薄膜・厚膜コーティングとその諸特性
- 伝統産業工学
- 異種材料の界面強度評価と接合技術
- 超音波計測・解析法の新展開
- セラミックスおよびセラミックス系複合材料
- 工業材料の変形特性・強度およびそのモデル化
- 加工技術の最前線
- バイオマテリアルおよび細胞／組織のプロセス・力学

学・強度

- マイクロナノ理工学：nm から mm までの表面制御とその応用
- 価値の共創と共存に 1 DCAE・MBD が果たす役割
- 交通・物流機械の自動運転
- マイクロ・ナノ機械デバイスとその信頼性
- エネルギー材料・機器の信頼性
- 実験力学、数値解析を連成させる高品位皮膜創生技術
- 知的材料・構造システム
- 自己治癒材料・システム
(順不同)

現在、2022 年度年次大会のオーガナイズドセッションのご提案を募集しており、皆様からの多数のご提案をお待ちしております。また、オーガナイズドセッションの他にも、①基調講演、②先端技術フォーラム、③ワークショップ、④市民フォーラム他、市民向け・子供向け行事（9 月 11 日（日）開催）等の各種企画を募集しております。（お申込み、お問い合わせについては文末をご参照いただきますよう、お願いいたします。

末筆になりますが、2022 年度年次大会の会場となる富山大学五福キャンパスは JR 富山駅から 20 分（路面電車 15 分、徒歩 5 分）程度です。2015 年に北陸新幹線東京-富山・金沢間が開業したこともあり、交通の便が良くなりました。北



富山大学五福キャンパス 総合教育研究棟（工学系）

陸は海の幸に代表される食はもちろん、多数の造り酒屋の地酒も楽しめます。是非、この機会に富山大学五福キャンパスに足をお運び頂ければ幸いです。実行委員はじめ富山大学スタッフ一同、多数の方のご参加をお待ちしております。

各種企画のお申込み・お問い合わせ先：

第 1 技術委員会

2022 年度担当

富山大学 増田健一：masuda@engu-toyamaac.jp

The 6th Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP 2022)開催のお知らせ

開催日：2022 年 1 月 26 日（水）

会場：オンライン（マラヤ大学、マレーシア）

日本機械学会機械材料・材料加工部門では、第 6 回機械材料・材料加工技術に関するアジアシンポジウム（ASMP 2022）を、2022 年 1 月 26 日にオンラインにて開催いたします。このシンポジウムは、タイ・バンコク（2006 年）、マレーシア・ペナン（2009 年）、インド・チェンナイ（2012 年）、インドネシア・ロンボク（2015）、タイ・バンコク（2018 年）に続く 6 回目のシンポジウムです。マレーシア・マラヤ大学（Universiti Malaya）と協力しての開催となります。当初、2021 年にマレーシアの首都・クアラルンプールにありますマラヤ大学を会場としての開催を計画しておりましたが、新型コロナウイルス拡大の影響により延期となり、また、現地での開催は困難であると判断し、オンラインでの開催となりました。ASMP はこれまでに、機械材料、加工、評価などの各分野の研究者や技術者に国際交流の場を提供してまいりました。現地で開催できなかったことはたいへん残念ではありますが、国際共同研究、国際的な学術交流の重要性はポストコロナであっても変わらず、本部門が大切に育ててまいりました国際交流を継続し発展させるため、今後もこの歩

みを止めることなく進むために、開催を決意いたしました。皆様のご参加をお待ちいたしております。詳しい情報およびお申込みについては、部門 HP もしくは、ASMP 2022 ホームページ（<https://www.eventcreate.com/e/asmp6th>、こちらに最新情報が掲載されます）をご覧ください。

参加登録費

日本人一般：15,000 円、日本人学生：8,000 円

主な日程（予定）

講演概要（1 ページアブストラクト）締切：

2021 年 12 月 31 日（金）

参加登録締切：2022 年 1 月 15 日（土）

発表形式

口頭発表（オンライン、リアルタイム）

問い合わせ先

・宮下幸雄、長岡技術科学大学、Email: miyayuki@mech.nagaokautac.jp

・Dr. Farazila Binti Yusof, Universiti Malaya, Malaysia, Email: secretaryasmp2022@gmail.com

編集後記

ニュースレター No.62 を発行するにあたり、ご執筆いただいた方々、発行にご尽力をいただいた皆様に厚く御礼申し上げます。本号では、「材料・加工・構造物の信頼性を支える評価・モニタリング技術」を特集させていただきました。巻頭言で井原先生が述べられていますように、DX 社会には欠かせない技術で、AI の活用でますますの発展・実用化が期待される分野です。今後も皆様にとって有益な情報を発信していきたいと考えております。ぜひご意見・ご要望等を広報委員会・松崎(rmatsuza@rstusac.jp)までお寄せください。

発行

発行日 2021 年 11 月 30 日

〒 162-0814 東京都新宿区新小川町 4 番 1 号 KDX 飯田橋スクエア 2 階
一般社団法人 日本機械学会 機械材料・材料加工部門
第 99 期部門長 小林 訓史
広報委員会委員長 松崎 亮介
Tel.03-5360-3500 Fax.03-5360-3508