

アコースティックエミッション(AE)に関する 最近のおもしろい話題

実構造物の腐食損傷評価

日本フィジカルアコースティクス(株)

湯山 茂徳

技術トレンド

アコースティックエミッション (AE) に関する 最近のおもしろい話題

実構造物の腐食損傷評価

日本フィジカルアコースティクス㈱ 湯山 茂徳
Sigenori Yuyama

現在稼働中の大部分の石油・石化プラントは高度成長時代に建設され、すでに稼働開始後30年を越えたものも多い。今後安定型の経済成長と高齢化社会が生み出す成熟型社会への移行が進むにつれ、これら産業基盤となる構造物の効率的な維持・管理技術確立の必要性が高まりつつある。

固体内で生ずる割れ、変形などの局所的微視変化を探る手段として有力なAE法は、工業技術の1つとして30年近くの歴史を持ち、現在多くの分野で実用化されている。欧米では、多数のプラント所有者からなるAEユーザーズクラブが結成され、定期的な情報交換のための会議を開催し、新たな計測法の開発や、信頼性の高いデータベースの構築に努力を重ねている。

こうして作成されたデータベースとして、各種プラントの圧力容器、反応塔、球型タンク等の試験方法およびデータ評価・判定法を規定した「MONPAC」と、円筒型貯蔵タンク底板の腐食損傷診断のために開発された「TANKPAC」がある。これらのデータベースを基に、欧米において、石油・石化プラントで実構造物の損傷診断法としてAE法が用いられ、維持・管理経費節約の手段として、極めて有効であることが示されている。しかしながら、わが国では、法的規制等の影響で、AE試験が一般的に適用されているとは言いがたい状況にある。

本稿は、石油・石化プラントのステンレス製圧力容器、反応塔、プロセスユニットや、原油、アンモニアなど各種貯蔵タンクにおける、AE法による腐食損傷診断の欧州での適用事情⁽¹⁾⁽²⁾を紹介する。

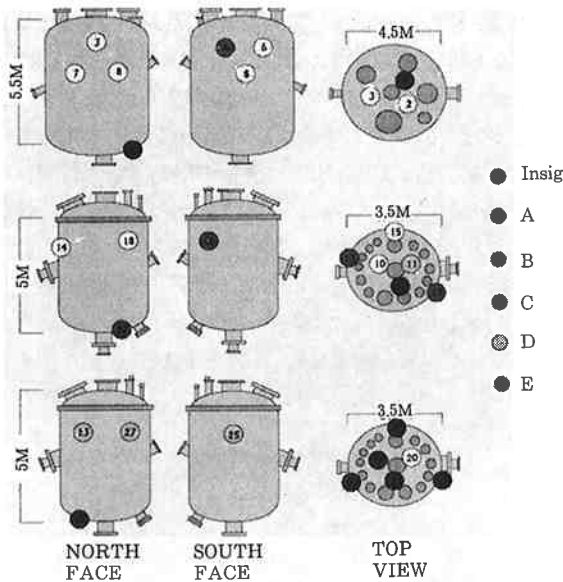
1. 適用事例

(1) ステンレス製反応容器

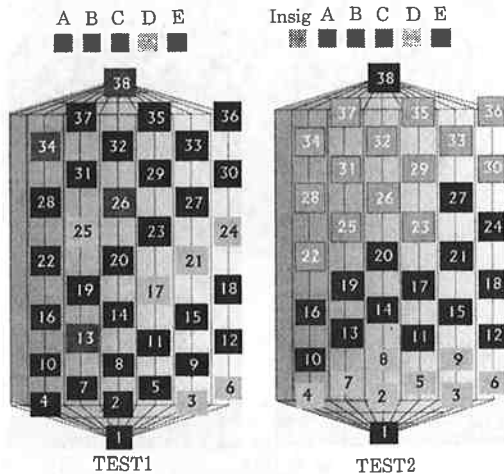
連鎖した5基のステンレス製反応容器に対して、毎年継続的にAE試験が行われている。攪拌器による雑音を除去するため必要となる一時的操業中断時(約2時間)に合計64個のAEセンサーを取り付け、窒素ガスを注入し通常運転時の110%まで加圧して、AEを計測する。この試験で2基の容器の鏡板部に、第1図に示されるごとく、MONPAC判定グレードE(最も危険度の高いランク)のAE源が発見された。これはSCCクラックによるものと推定されたため、直ちに補修用の器材が発注された。後に行われた操業停止時の検査により、厚さ方向80%にいたる内面SCCクラックが発見された。AE試験によりSCCクラックの存在が推定され、予め必要な器材を調達することができたため、操業停止期間を大幅に短縮することが可能となり、このことにより、約2億円程度の経費を削減することができたとされる。

(2) 横置エチレン貯曹

これらの貯曹は保冷材でおおわれているため、AEセンサーを取り付けるためには、直径20~30cm程度の穴を保冷材にあける必要がある。加圧は、冷却コンプレッサーを一時的に停止し、内部温度を上昇させることで、所定のレベルまで行う。この試験では、Aグレード(全く問題なしと判定)以上のAE源は検出されなかった。従って、貯曹は継続して操業を続けた。後に一基の貯曹において、縦方向および円周方向の50%溶接長さに対して外面からUT検査が行われたが、問題



第1図 MONPAC判定規程でグレードEと評価されたステンレス製反応容器鏡板部のSCCクラック

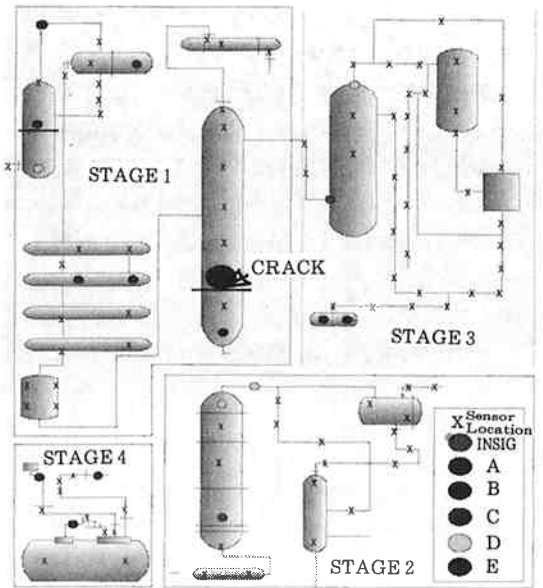


第2図 AE試験でステンレス製円筒容器に発見されたSCCクラック (TEST1) とナイフライン腐食 (TEST2)

となる欠陥は発見されなかった。

(3) ステンレス製円筒容器

直径4 m、高さ38mのステンレス製容器に対して操業一次停止時に窒素ガスを用いた加圧によりAE試験が行われた。第2図TEST1に示されるように容器下部鏡板近くにグレードEのAE源が検出され、後に行われた浸透探傷試験により、保温材下で、外面より生じた貫通SCCクラックであることが確認された。その部分は、直ちに一時補修がなされ、後に実施された操



第3図 プロセスユニット全体の窒素ガスを用いた加圧によるAE試験

業停止時に本格的な補修が行われた。操業停止時に容器は酸洗いされ、再び保温材が取り付けられた。2年後に再度AE試験を行うと第2図TEST2に示されるごとく前回とは異なる部位にグレードDのAE源が検出された。引続き行われた非破壊検査により、これは容器下部の溶接熱影響部に生じた、内面ナイフライン腐食によるものであることが確認された。

(4) プロセスユニット

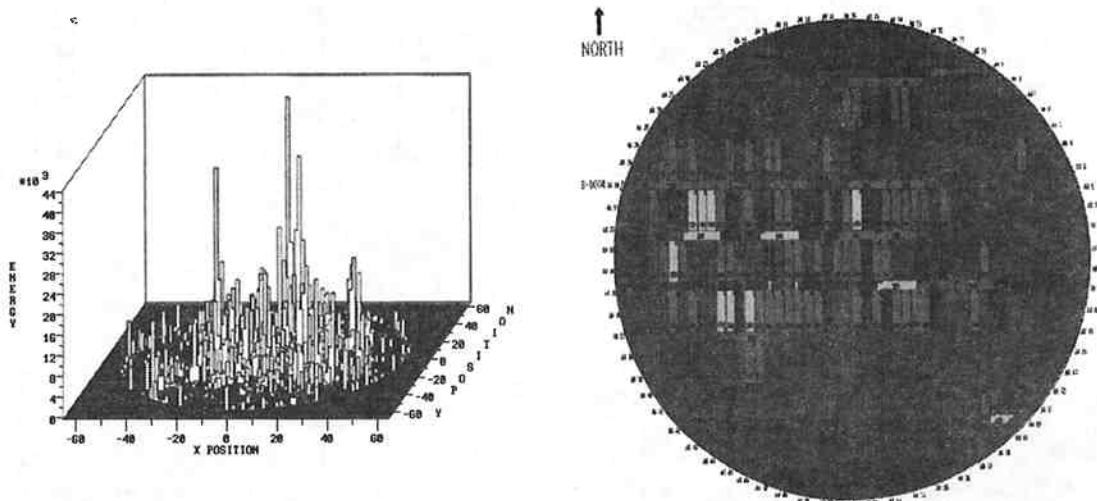
対象となるプロセスユニットの大部分はオーステナイトステンレス鋼で構成され、SCCの問題が頻繁に生じたため、AE試験が実施されることとなった。ユニット全体は、多数の容器とパイプ部分からなる。試験時期として、予め計画されたオーバーホールの直前に窒素ガスを用いて加圧を行い、その時にAEを計測することが最適と判断された。ユニット全体を、第3図に示すように4つの部分に分け、それぞれを別々に加圧し、全体の試験は操業停止中の4日間を終了した。グレードの高い(危険度の大きい)AE源には、引き続き他の非破壊試験を行った。もしAE試験のように、ユニット全体を迅速に短期間で検査可能な健全性診断法が用いられなかったとしたら、操業停止期間は数カ月にわたったと考えられる。多くの内面SCCクラックは、他の非破壊検査法では検出不可能であり、AE試

験を行うことによるのみ発見可能であった。

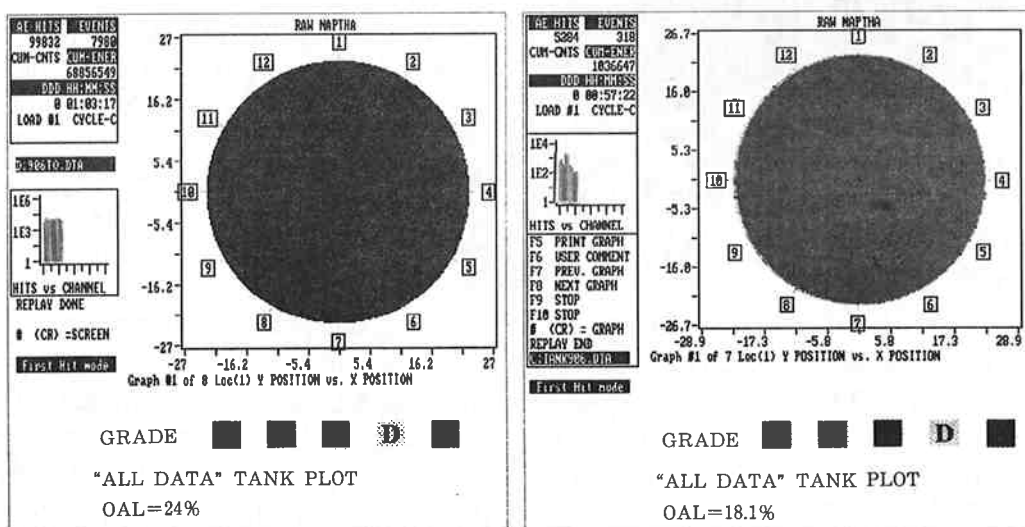
(5) 貯蔵タンク底板

円筒型貯蔵タンクの底板は、操業中には観察することができない。我国では、法規制により、1000キロリットルを越えた貯蔵能力を持つタンクは、その容量に応じて6年もしくは10年ごとの内部開放検査が義務づけられている。タンクの開放検査にともなう操業停止、清浄、さらに検査などにかかる経費は、大型タンクの場合、数千万円を越えることも珍しくない。もし、こうした開放検査で何らの問題も発見されなかったとし

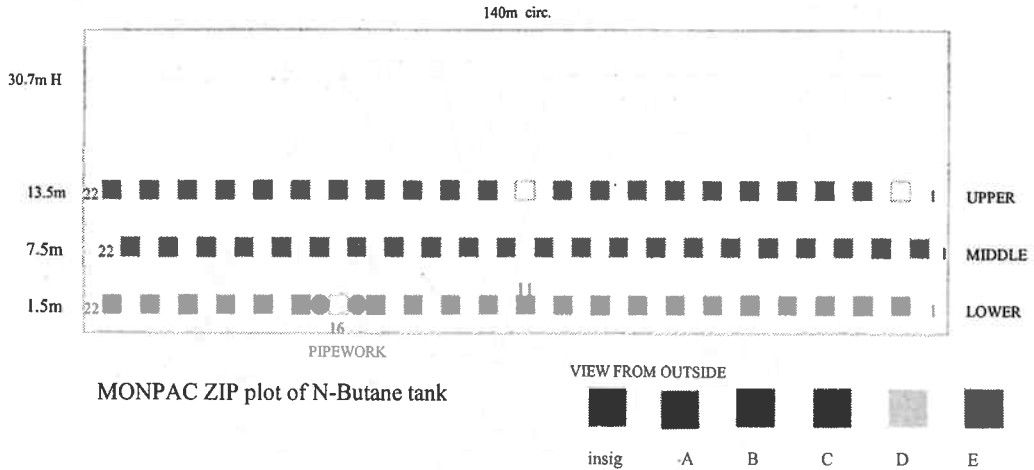
たら、検査にかかった莫大な費用は、全く無駄で無意味なものとなる。「TANKPAC」は、これまでに構築された膨大なデータベースを参照し、活性な腐食の進行で生ずるAEを、感度の高いAEセンサーを用いて検出することにより、タンク底板の損傷診断を行う試験法である。この試験により、タンク底板が良好な状態にあると判定されれば、開放検査を先送りし、そのまま操業が継続可能となるため、経費を大幅に節約することができる。また、多数のタンクに対して試験を行えば、その判定結果をもとに、開放検査を行うタンク



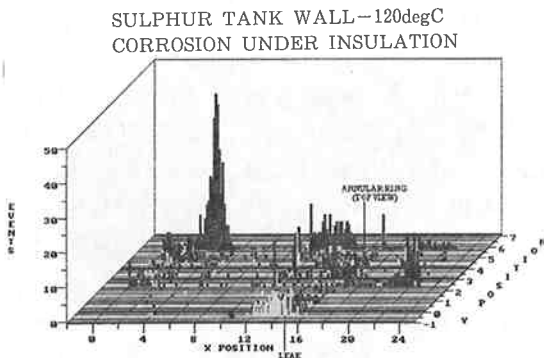
第4図 原油貯蔵タンク底板のTANKPACによる腐食損傷診断



第5図 ナフサ貯蔵タンク底板の腐食損傷診断



第6図 低温N-ブタンタンク側板のAE試験結果 (側板上に表示された損傷部の位置とそのグレード)



第7図 サルファータンク側板のAE試験

の優先順位を決めることができる。

第4図は、原油タンクへの適用例である。左図は、底板におけるAE発生位置を示したもので、Z軸方向に大きな値を示す位置ほどAEイベントが多く検出され、腐食損傷の激しい位置であることを表している。また右図は、同じ底板に対して、開放検査時に清浄後、磁束漏洩スキヤンを行ったときの結果である。この検査で減肉が極めて大きいと判定された位置は、多くのAEイベントが検出され、腐食損傷が激しいと判定された位置とよく一致している。

第5図は、ナフサ貯蔵タンクへの適用例である。左図は、開放検査前に行ったAE計測の結果で、底板上で多くのAEイベントが検出され、グレードE (重大な損傷あり)と判定された。また右図は、補修後、再操業を行っている時の計測結果で、この場合グレードA (全く問題なし)と判定されている。

(6) 貯蔵タンク側板

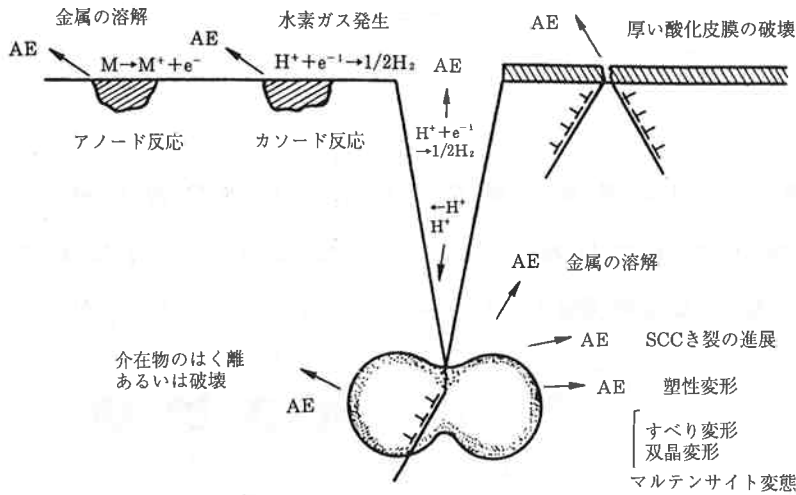
保温 (冷) 材でおおわれ、UT試験を実施しにくいタンク側板に対して、内部の液面上昇時にAE計測を行い、健全性を診断することが行われる。こうしたAE試験により、SCCクラックや腐食損傷部を効率的に発見できる。大型低温タンク (たとえばアンモニアなど) の場合、AEセンサーが半永久的に取り付けられ、必要に応じて、繰り返し試験が行われる。AE計測は過去12ヶ月間に経験した最高液面高さを基準に置き、その90%高さから105%高さまで液面を上昇させて行う。

第6図は、低温N-ブタンタンクに対して行われたAE試験結果である。グレードEと判定された位置には溶接熱影響部にナイフライン腐食が発生していた。

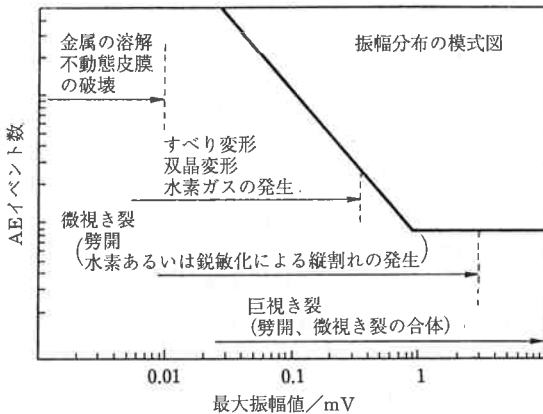
第7図は、サルファータンクへの適用例で、多数のAEイベントが検出された位置に、極めて重大な腐食損傷が発見された。

2. AE発生源

腐食損傷過程におけるAE発生源については、すでに基礎的研究^{(3)~(5)}により明らかにされている。第8図に、腐食、SCCおよびCF (腐食疲労) などの腐食損傷過程で考えられるAE発生要因を示す。主なものとして、①クラック先端の塑性域内で生ずる変形、変態、介在物の割れ、②クラック進展に基づくへき開などの微視割れ、③厚い酸化皮膜の破壊、④カソード反



第8図 腐食、SCC、CFにおけるAE発生源



第9図 AE発生源とそのエネルギーレベル

応による水素ガス発生、などが示されている。このうち水素発生によるAEは、固体の破壊で生ずる本来のAEとは区別し、二次的AE⁽⁶⁾と呼ばれる場合もある。

こうした二次的AEの1つとして、荷重変動下におけるSCCやCFクラック面同士のこすれなどの機械的要因がある。また、クラック内に生じた腐食生成物の破壊などがAE発生源の1つとなることが知られている。これらは、実構造物のAE試験を行う際に大きなAE活動度を与えるために、実用的には極めて重要なAE発生源である。

こうした知見をもとに、AE発生要因ごとにその相対的エネルギーレベルを振幅分布上で明らかにしたのが第9図である。ここで実機試験の結果によると、化学プラント等の定常運転時に生ずる環境雑音は、数100

$\mu V \sim 1 mV$ 程度と報告されている。従って、不動態皮膜の破壊、金属の溶解、水素発生等によるAEはエネルギーが小さく、環境雑音を越えて計測することはほとんど不可能と考えられる。しかるに、SCCあるいはCFクラックの発生および進展、介在物あるいは鋭敏化に起因する三軸応力場中での縦割れの発生⁽⁷⁾、更にこれら微視割れの合体による巨視割れの発生、および厚い酸化皮膜の破壊やはく離、さらにクラック面同士のこすれなどは、AE発生源とセンサーとの距離に基づくAEエネルギーの減衰を考慮したとしても十分実機段階で環境雑音と識別可能であり、有効信号として検出しうる可能性がある。

圧力容器、球型タンク、貯曹、パイプなどの実構造物におけるAE試験は、通常操業中断時あるいは停止時に、対象となる構造物が過去12ヶ月間に経験した最大負荷の数%程度の過負荷をかけて行われる。こうした条件下で、新たなクラックの発生や成長は、一般的には起こりにくい。従って、この場合のAE発生源は、既存のクラック面同士のこすれや、クラック内にある腐食生成物の破壊などであると考えられている。また、タンク底板の腐食損傷診断で検出されるAE信号の発生源は、厚い酸化物(腐食生成物)の破壊やはく離であるとされている⁽²⁾。

3. 今後の課題

実構造物にAE法を適用するにあたり：(1)定期検査

時の過負荷試験、(2)操業一時停止時の過負荷試験、(3)連続モニタリング、の3つがある。このうち(1)と(2)に関してはすでに技術的に確立されており、SCCクラックや腐食損傷部の発見およびその成長性の有無について「MONPAC」および「TANKPAC」の例に見られるように多くの適用実績がある。(3)に関しては、技術的には、十分可能であるが、雑音対策の難しさや、大量のデータを解析しなければならない煩雑さにより、現在のところ、実用的にはほとんど用いられていない。

AE法により、クラックの大きさやその進展量などを定量的に求めることは、実験室における定量的波形解析⁽⁸⁾⁽⁹⁾の手法を用いない限り普通はできない。しかしながら欠陥や腐食損傷部の大まかな位置、および危険度については実機段階でも十分診断することができる。

こうした特徴を利用し、欧米においては実構造物の腐食損傷診断法としてAE試験が広く用いられている。すでにMONPACに基づくAE診断は1970年代半ばに始まり、今日までに数万件を越える試験が行われたと言われる。またTANKPACによるAE試験は1990年代初頭から現在まで、およそ3000基のタンクに対して適用されている。このようにAE試験を用いることにより、欧米では実構造物の維持・管理経費が大幅に削減されている。

「MONPAC」や「TANKPAC」によるAE診断を我国でそのまま適用するには、現在のところ法的規制その他の諸事情により多くの障害がある。しかしながら世界的規模の大競争時代を迎え、各分野において、規制緩和および撤廃の動きは急である。さらに経済の低成長下のもと、維持・管理費削減の要求はますます強まるものと考えられる。こうした中で適切な判断を下し、不必要な経費を削減するために、欧米におけるのと同様、我国でも合理的にAE試験を適用することが大いに期待される。

<参考文献>

- (1) P.T.Cole: European and American Experience of Acoustic Emission Applications in the Chemical Industry, PAC Technical Report, (1996)
- (2) P.T. Cole and S.N.Gautrey: Acoustic Emission from Active Under Insulation Corrosion—A Case History from a Sulphur Tank, EWGAE Meeting, July 1996
- (3) 湯山茂徳、岸輝雄、久松敬弘: すま腐食—SCC発生のAE法による検知とその解析法、鉄と鋼、第68巻、第14号、pp.2019—2028、(1982)

- (4) 湯山茂徳: アコースティックエミッション (AE) 法による腐食損傷評価、防食技術、Vol.35、pp.163—170、(1986)
- (5) S.Yuyama: Fundamental Aspects of Acoustic Emission Applications to the Problems Caused by Corrosion, ASTM, STP908, pp.43—74、(1986)
- (6) 岸輝雄、栗林一彦: アコースティック・エミッションによる材料評価、日本金属学会報、20 (3)、pp.167—175、(1981)
- (7) 湯山茂徳、久松敬弘、岸輝雄: 鋭敏化したステンレス鋼の腐食疲労過程におけるAE発生におよぼす環境、力学、材料条件の破面解析による検討、日本金属学会誌、46 (5)、pp.509—517、(1982)
- (8) 湯山茂徳、岡本享久、重石光弘、大津政康: モーメント・トルク解析適用による鉄筋コンクリート供試体中に生ずるひび割れ進展過程の定量的評価と可視化、非破壊検査、43 (8)、pp.514—522、(1994)
- (9) 増野茂美、真下祐輔、榎学、岸輝雄: 差分法の並列計算による動的グリーン関数の導出、非破壊検査、44 (2)、pp.88—94、(1995)

【筆者紹介】

湯山茂徳

(昭和26年6月8日生・静岡県出身)

日本フィジカルアコースティクス(株) 代表取締役

〒150 東京都渋谷区東2-17-10 岡本LKビル8F

TEL: (03)3498-3570

FAX: (03)3498-8450

<趣味> フルード演奏、美術品鑑賞

<主なる業務歴および資格>

1982年東京大学大学院工学系研究科博士過程終了。工学博士。1983年現日本フィジカルアコースティクス(株)設立。以後、AE計測装置の輸入販売、AEによる材料評価の研究、構造物のAE試験などに携わる。

日本フィジカルアコースティクス株式会社

<代表者名> 湯山茂徳

<本社住所>

〒150 東京都渋谷区東2-17-10 岡本LKビル8F

TEL: (03)3498-3570

FAX: (03)3498-8450

<資本金> 1,600万円

<年商> 1億5,000万円

<従業員数> 5名

<主要取引先> 大学、官公庁、企業研究所

<事業内容および会社近況>

米国フィジカルアコースティクス (PAC) 社の子会社として、AE計測装置、超音波探傷装置、渦流探傷装置などを日本国内で輸入販売。さらにAE法による材料評価などのコンサルティング業務、また、金属製、FRP製、コンクリート製構造物などのAE試験業務を行う。