

「AE 計測技術・実用編—その 1」

AE 装置および周辺機器

中村 英之^{*1}

Nakamura Hideyuki

これまで、AE 計測技術の基礎シリーズとして「その 1 - ハードから計測条件の設定まで」、「その 2 - AE 波伝播特性とデータ解析」、および「その 3 - 波形解析と波形自動識別」というテーマで技術紹介を本誌に掲載した。その続編として本シリーズでは、AE 計測を実際の現場で適用するにあたり考慮しなければならないことや、より実践的なノウハウを紹介することとした。シリーズの初回として、当社が販売する AE 装置のラインナップと機能、センサの種類、付属品などを述べる。

キーワード：Acoustic Emission (AE)、AE 計測、ノイズ、データ採取、AMSY

1. はじめに

実際の AE 計測は、実験室内による計測もあれば、屋外でのノイズが多い環境での計測もある。また AE 計測に要求される精度や感度も目的に応じて大きく異なる。AE 計測を計画する場合、それらの計測環境や要求精度に応じた装置を選択することが重要である。本稿では、自らが取り扱う機器の特徴、性能、および使用方法を知ることの一步として、当社が取り扱う AE 装置、AE センサ、周辺機器の一部を紹介する。

2. AE 装置のラインナップと機能

2.1 Leak Sound Meter LSM1 (漏れ検知装置)

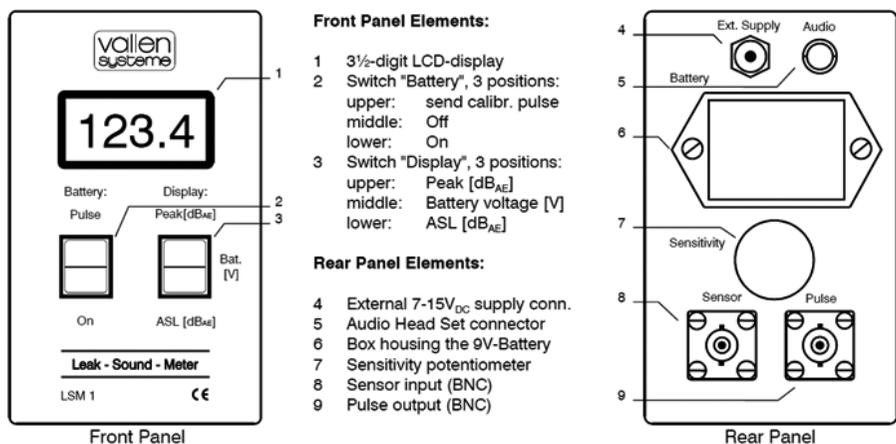
Leak Sound Meter LSM1 (以下、LSM1) は、漏れ検知や簡易 AE 計測を目的として開発されたシングルチャンネルの簡易型 AE 装置である。図 1 に LSM1 の外観図を、図 2 にブロック図を示す。この

装置は、20-100kHz (または 100-300kHz) のバンドパス周波数フィルターを内蔵しており、この帯域に感度を有するセンサ (非プリアンプ内蔵型) であるなら接続可能である。しかし製造元の Vallen 社では、最も適するセンサとして VS30-V (20-80kHz) または VS45-H (40-300kHz) を推奨している。

LSM1 のデータ表示・出力は、最大振幅値 (Peak Amplitude) のほか、環境ノイズや運転音などの指標となる ASL (Average Signal Level) への切り替えが可能であり、さらに入力した AE 信号を可聴音に変換し、ヘッドホンで聴くことも可能としている。

またこの装置は、AE 計測だけではなく、パルス発信機能を有しており、大型構造物の AE 計測における感度チェックや音速確認などに使用可能である。実際パルス発信装置として使用する場合には、パルス信号出力端子に VS30-V 等のセンサを接続し、パルサーとして使用する。

*1: 検査事業部 部長 博士 (工学) 日本非破壊検査協会理事



Size (mm):105H * 65W * 85 D, Size (inch): 4.13H * 2.56W * 3.35D, Weight: 550g, Made in Germany

図 1 LSM1 の外観⁽¹⁾

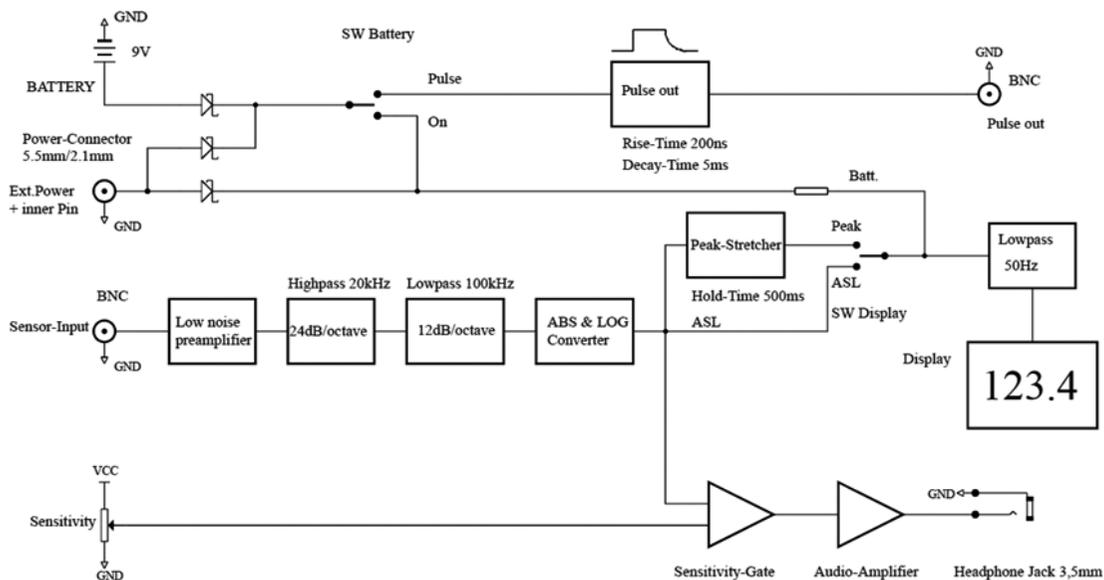


図 2 LSM1 のブロック図⁽¹⁾

LSM1 は、各種プラント配管バルブの漏れ検知のほか、微粒子の衝突検知、クラック進展、複合材料の層間剥離および断線、キャビテーション、放電検知などさまざまな対象での音響変化の確認に用いられる。

主な使い方としては、プラント等に設置される機器にセンサを押し当て、漏れなどの異常信号の有無を確認したり、定期的に機器の作動音を計測

することで機器の経年劣化を捉えるのに用いたりする。

また、AE 計測では、有意信号の強度とノイズレベルが AE 適用の可否に大きく影響するため、事前調査や予備試験が必要となる場合が多い。この事前調査において、LSM1 を用いることで有意信号やノイズのレベルを定量的に把握することが可能となる。

2.2 ASCO シリーズ

ASCO シリーズは、生産現場への AE 適用を目的として開発された低価格のシングルチャンネル AE 装置で、ASCO-P (Acoustic Signal Conditioner with Peak Detector) と ASCO-P にデータ採取機能 (ハードソフトのパッケージ) をもたせた ASCO-DAQ (Data Acquisition) がある。

図 3 に ASCO-P の外観、図 4 にブロック図、図 5 にコネクタを示す。ASCO には、検知すべき信号の周波数に応じ選択されたバンドパス周波数フィルタが搭載され、センサの周波数特性と合わせることで特定周波数の信号を取り込む機能を有する。また、ASCO-P は、フィルタ出力 (アナログ波形)、ASL 出力、APK (AE Peak Amplitude) 出力

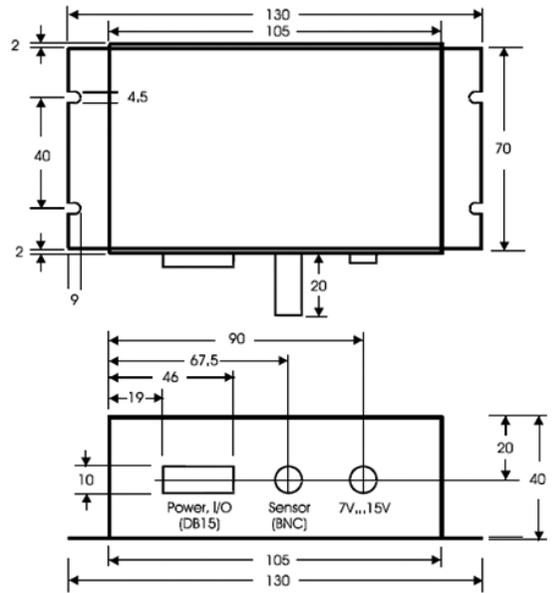


図 3 ASCO-P 外観図⁽²⁾

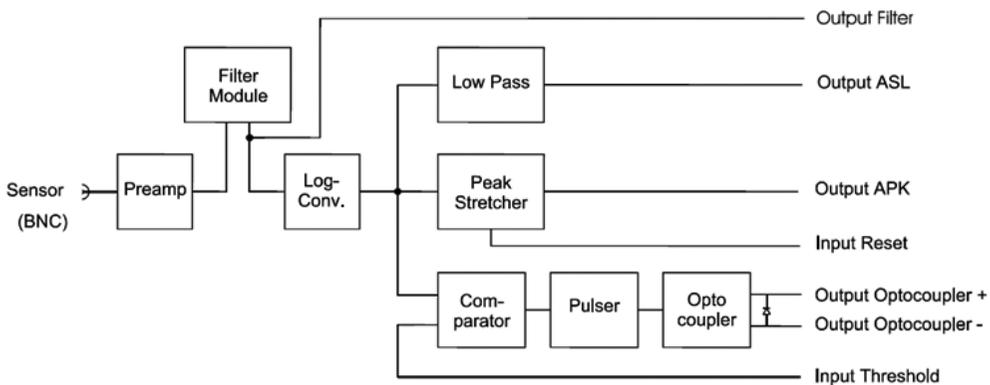
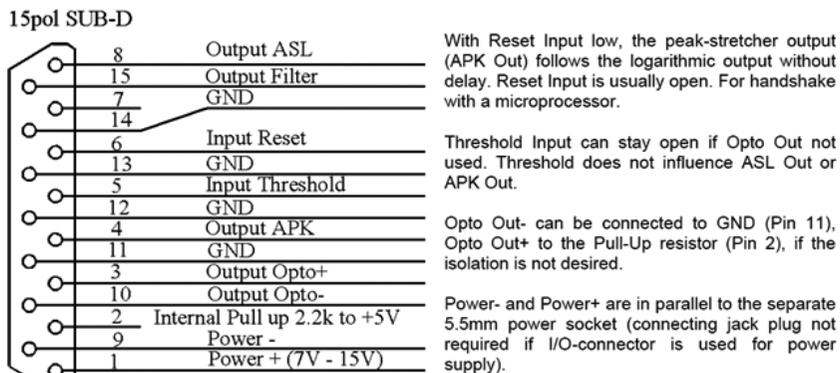


図 4 ASCO-P ブロック図⁽²⁾



Male connector at ASCO-P, female at cable.

図 5 ASCO-P コネクタ⁽²⁾

があるほか、入力電圧に応じたしきい値 (Threshold) を超える APK が検知されると Optocoupler からパルス信号を発する機能を有する。これらの入出力をもつ ASCO-P を生産ラインにおける加工装置の制御部に組み込むことで、AE 信号を用いた合否自動判定や加工時のデータ収集が可能となる。これらの機能は、IoT やファクトリオートメーションにおけるセンシングにつながるものであり、また収集データと製品の合否結果を AI に学習させることで、より信頼性の高い自動判定が可能になると考える。

2.3 AMSY-6

AMSY-6 の基本性能については No.56 にて紹介した。本稿では、他の AE システムと比較し圧倒的優位性をもつ AMSY-6 の高速データ採取能力について解説する。

AE データを採取するアルゴリズムは No.56 に述べた。AE データには、波形特徴を数値で示す AE パラメータデータと AE 波形データがあるが、いずれのデータ採取についても限界速度がある。

つまり、新たな AE 事象が発生する頻度に対し、AE 装置がデータを採取し、保存する速度が遅い場合はデータの取りこぼしが生じる。その場合の AE データは、AE 発生頻度を表しているのではなく、保存できた AE 事象数を表しているだけである。このため、高機能の AE 計測装置では、データ採取の高速性が求められ、単位時間あたりに保存可能なデータ量として、AE パラメータデータの場合は Hits/sec、波形データの場合は、MB/sec で性能表示される。なお、波形データの場合は、データ量ではなくサンプル数で表示される場合があり、その場合は、1 サンプルの保存に 2byte のメモリを必要とするため、サンプル数を 2 倍したものがデータ量となる。

また波形データの取り込み性能を表す指標に波

形データ保存メモリ (Waveform storage) の容量がある。このメモリは AE 基板に搭載され、波形データをメモリに一旦保存した後に PC に転送する役割を担っている。前述の単位時間あたりの波形データ量はこのメモリ容量で決定すると言っても過言ではない。メモリ容量を読む場合の注意点として、1 チャンネルあたりの容量が重要である。AMSY-6 では、1 枚の AE 基板に搭載できるメモリは最大 2GB (16MB、512MB、2GB から選択) であり、1 チャンネルあたり最大 1GB のメモリが搭載可能である。

近年、周波数の変化を評価の指標とするケースが増えているが、波形が得られなければ重心周波数やピーク周波数などの波形解析やウェーブレット解析を行うことができないことから、波形データの採取性能は益々重要となる。

3. センサの種類と特性

当社が Vallen 社から輸入販売している AE センサには Vallen 社製のもの、他社が製造したものがあり、センサ型式が VS で始まるものは Vallen 社製、AE または他の記号で始めるものは他社製である。

センサのタイプは大別して、特定周波数の感度を高くした共振型と圧電素子をダンパーで押さえ共振を抑えた広帯域型に分けられるほか、プリアンプ内蔵型と非内蔵の通常センサがある。表 1 に当社が販売するセンサー一覧 (一例) を示す。備考欄 (Comments) に “Very flat response” と記されるのが広帯域型、“Integral preamp.” と記されるのがプリアンプ内蔵型である。

センサを選択する場合、まず周波数が検出対象とする AE 波に適合したものを選択するのが一般的であるが、回転機器の損傷評価など周波数シフトを評価指標とする場合には広帯域型を用いる。

また、検出すべき AE 波の周波数が不明な場合

には、広帯域型や感度帯域が異なる複数のセンサを用いた予備試験を実施し、最も高い感度を有するものを選択する。なお、計測対象やセンサ取付け位置に空間的制約がある場合には、表2に示すケーシング寸法を参考にセンサを選択する。

表1に示すセンサは一例であり、この外にも防爆タイプや防水タイプなど特殊用途のセンサも販売している。

さまざまな材料におけるAE計測で用いられ、最もポピュラーなAEセンサであるVS150-Mの周波数特性曲線を図6に示す。

このセンサは、共振周波数が150kHzのセンサ

であるが100～450kHzと比較的広い感度帯域を有し、鉄鋼、コンクリート、複合材などの損傷監視、破壊試験や疲労試験に使用可能であることから、プリアンプ内蔵型で同一周波数特性を有するVS150-RICとともにさまざまな適用対象の現場で使用される。

当社が販売するAEセンサのカタログでは、全てのセンサの感度特性曲線例が示されており、センサの選択や購入時の参考としている。また、Vallen社ではAEセンサの出荷前に個々のセンサの特性を確認し、出荷品に当該品の特性曲線を添付している。

表1 AEセンサー一覧(一例)⁽³⁾

Sensor Model	Freq. Range/kHz	Case	Temp. Range/°C	Capacity in pF	Comments
VS30-V	25-80	V	-5 to +85	140	Flat response
VS30-SI-40dB	25-80	SI	-5 to +85		Integral preamp. 40dB
VS30-SIC-34/40/46dB	25-80	SI	-5 to +85		Integral preamp. 34/40/46dB
VS45-H	20-450	H	-20 to +100	270	Multi purpose
VS75-V	30-120	V	-5 to +85	140	Resonance at 75kHz
VS75-SI-40dB	30-120	SI	-5 to +85		Integral preamp. 40dB
VS75-SIC-34/40/46dB	30-120	SI	-5 to +85		Integral preamp. 34/40/46dB
VS150-M	100-450	M	-50 to +100	350	Resonance at 150kHz
VS150-L	100-450	L	-50 to +100	350	Full metal case Contact face not isolated
VS150-RI	100-450	R	-40 to +85		Integral preamp. 40dB
VS150-RIC	100-450	R	-40 to +85		Integral preamp. 34dB
VS160-NS	100-450	NS	-50 to +180	350	High temperature
VS375-M	250-700	M	-50 to +100	390	Resonance at 375kHz
VS375-RIC	250-700	R	-40 to +85		Integral preamp. 34dB
VS600-Z1	550-730	Z1	-10 to +110	250*	1m integral cable
VS650-P	300-850	P	-50 to +100	85	Resonance at 650kHz
VS700-D	60-800	D	-20 to +70	163*	35cm integral cable, magnet integrated in sensor
VS900-M	100-900	M	-50 to +100	540	Multiple peaks
VS900-RIC	100-900	R	-40 to +85		Integral preamp. 34dB
VS1000-H	10-400	H	-20 to +100	50	Flat from 30 to 270kHz
VS2M-P	350-2000	P	-50 to +100	340	Resonance at 320, 790 kHz
AE1045S	100-1500	S	-20 to +80	89	Very flat response
AE2045S	200-2500	S	-20 to +80	140	Very flat response
AE104A	100-400	A	-20 to +80	40	
AE105A	450-1150	A	-20 to +80	60	
AE144A	100-500	A	-20 to +80	30	
AE204A	180-700	A	-20 to +80	46	
M31	300-800	M31	-20 to +80	89*	0.5m integral cable
M58	700	M58	-20 to +80	260*	1m integral cable
HT114-S1	80-370	S1	-50 to +500	70	Differential preamplifier required, 1m integral high-temp cable (300pF/m) plus 1m fix connected soft cable (90pF/m), other lengths on request

表2 センサ・ケーシング寸法⁽³⁾

Case	Size DxH (mm)	Weight	Case Material	Connector	Wear Plate
A	8 x 18	5g	Stainless steel	Microdot	Ceramics
D	6.3 x 10	1.5g**	E-Copper, tinned	SMA/BNC*	Neodyne
H	20.3 x 22	21g	Aluminum	Microdot	Ceramics
L	20.3 x 14.3	13g	Aluminum	SMC	Aluminum
M	20.3 x 14.3	12g	Aluminum	Microdot	Ceramics
M31	3 x 3	0.2g**	Stainless steel	μdot/BNC**	Ceramics
M58	5 x 3	0.4g**	Stainless steel	BNC**	Ceramics
NS	20.3 x 14.3	12g	Aluminum	SMC	Ceramics
P	12.7 x 13.8	8g	Stainless steel	Microdot	Ceramics
R	28.6 x 31.5	50g	Aluminum	BNC	Ceramics
RT	28.6 x 38	65g	Aluminum	Top BNC	Ceramics
S	20 x 20	31g	Stainless steel	Microdot	Ceramics
SI	28.6 x 51.8	93g	Aluminum	BNC	Ceramics
S1	20 x 20.5	30g**	X5CrNi13	BNO	X5CrNi13
T	20.3 x 27	32g	Aluminum	Top Microdot	Ceramics
V	20.3 x 37	44g	Aluminum	Microdot	Ceramics
VTB	20.3 x 45	52g	Aluminum	Top BNC	Ceramics
Z1	4.75 x 5.8	0.8g**	Stainless steel	SMA/BNC*	Ceramics

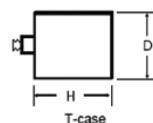
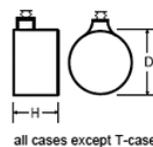


図6 周波数特性曲線の一例⁽⁴⁾

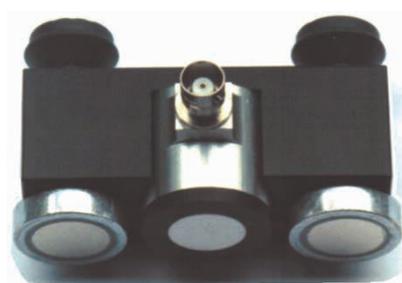


図7 マグネットホルダー

4. 付属品

4.1 センサホルダー類

AE センサを計測対象に取り付ける方法は、固定治具を使用する方法と接着剤で固定する方法がある。ここでは、固定治具を使用する場合の留意点を説明する。

当社で販売するマグネットタイプの固定治具(マグネットホルダー)の一例を図7に示す。このホルダーはセンサのケーシングサイズに応じ各種サイズがある。このホルダーは、計測対象に取り付けると、内蔵するバネにより一定の力でAEセンサの感度面が押し付けられる構造となっている。AE計測では、センサの押し付け圧力により受信感度が変わることから、AE計測中はセンサが均一な押し付け圧力で保持されるとともに、複数

のセンサ間でもこの力が同様でなければならない。

また、当社では計測対象が高温の場合に使用するウェーブガイドとセンサ固定治具を販売している(図8)。ウェーブガイドは、直径6mm、長さ700mmが標準であり、このロッドを介することでセンサへの伝播温度を低下させる目的で使用される。ウェーブガイドの使用では、ロッドを伝播する過程でモード変化が起こることが考えられる



図8 ウェーブガイド

が、AE 計測の多くは、AE 事象の発生や到達時間の検知を目的とすることから、伝播モード変化が計測結果に与える影響は少ない。

4.2 信号ケーブル

信号ケーブルには、センサ・プリアンプ間に使用するセンサケーブルとプリアンプ・AE 装置間に使用する BNC ケーブルがある。センサケーブルは、プリアンプ側は BNC コネクターであるが、センサ側はセンサのコネクターに合わせ、マイクロドット、SMC などがある。またケーブル自体も通常タイプや高温タイプなどがあり、用途に合わせ選択する。図 9 に示すような、防爆タイプのセンサや防水タイプなどの特殊センサには専用のケーブルが必要となる。

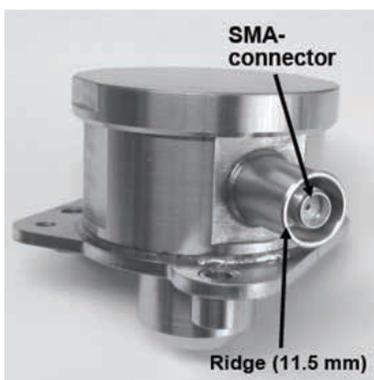
4.3 感度確認用シャープペンシル

図 10 に示すシャープペンシルは、AE センサの感度確認に使用されるものであり、シャープペンシルの芯を圧折するときの音を擬似音源としてセンサ感度の確認やセンサ間距離の決定に用いられる。この確認方法は、1975 年に米国の研究者 Dr. Hsu Nielsen により提唱され、その後、ASTM E976 として規格化された正規の方法であり、先端

の傘状の治具により圧折時の角度を一定に保つことで、繰り返し精度を向上させている⁽⁵⁾。シャープペンシルの圧折音は、幅広い帯域の周波数成分を含むため、さまざまなタイプのセンサの感度確認に使え、容易に入手可能であることから、この方法が定着した。なお、規格では芯の硬度は 2H、芯の太さは $\phi 0.3\text{mm}$ または $\phi 0.5\text{mm}$ が使用され、適用規格によりいずれを使用するかが定められている。ASME Sec.V Art.12 では、2H $\phi 0.3$ のシャープペンシルの圧折音を音源として、距離減衰カーブを作成し、しきい値とセンサ間距離を定めることが規定されている。なお、図 10 に示す感度チェック用のシャープペンシルは、展示会などで無料配布することがあるが、客先から要望がある場合には販売することも可能である。



図 10 感度チェック用シャープペンシル



(a) 防爆タイプセンサ



(b) 防水タイプセンサ

図 9 特殊センサー例

5. まとめ

今回はシリーズ初回ということで、当社が販売する AE 装置と周辺機器の特徴や使い方を紹介した。実際の AE 計測では、高性能な装置を必要とする場合もあるが、用途を限定することで安価な装置でも適用可能な場合もあり、客先のニーズと予算に応じ提案することが重要である。本稿で紹介した AE 装置や周辺機器は、当社が販売する製品の一部であり、その他多くの情報が展示会配布用の PR メモリや Vallen 社ホームページに記されている。本稿が、読者にとって、自らが取り扱う製品や適用情報を知るためのきっかけとなれば幸いである。

参考文献

- (1) Vallen Systeme 社：Leak Sound Meter LSM1 カタログ
- (2) Vallen Systeme 社：User Manual ASCO-P、pp.2-6
- (3) Vallen Systeme 社：Sensor Over View
- (4) Vallen Systeme 社：Sensors、p.5
- (5) 一般社団法人日本非破壊検査協会：アコースティック・エミッション変換子の感度劣化測定法、NDIS 2110、1997、pp.8-9



検査事業部
部長 博士(工学)
日本非破壊検査協会理事
中村 英之

TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547