

35. 音響カメラを用いた港湾構造物水中部劣化診断装置の開発

(独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム ○五十嵐 匡
 (独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地技術推進室道央支所 長瀬 禎
 国際航業(株) 社会基盤事業部河川・環境部水域基盤グループ 大西 明夫

1. はじめに(背景)

港湾及び漁港施設における水中構造物の健全度診断は有効な点検手法が確立されておらず、潜水士による目視観察に頼っているのが現状である。

水中部の点検については、陸上で点検の指示を行う技師と水中で実際に目視点検を行う潜水士との連携が重要であり、透明度による影響も大きく、視界の悪い箇所については潜水士が手探り状態で異常箇所を確認している等、非効率で困難な作業となっている(写真-1)。



写真-1 潜水士による点検

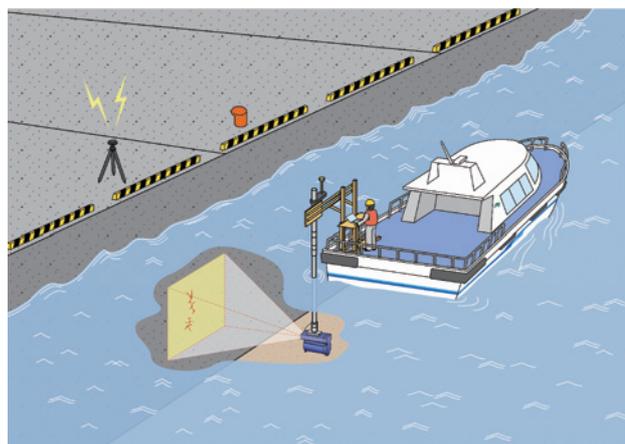


図-1 開発イメージ図

2. 開発イメージ及び開発計画

2.1 開発イメージ

本開発においては、潜水士を必要としないで水中部の構造物(コンクリート構造形式)の状況を計測する技術、及び計測データを蓄積して効率的に健全度診断を行えるシステムからなる、港湾構造物水中部劣化診断装置を開発するものである。

開発のイメージを図-1に示す。撮影装置をポール状の架装装置先端に固定し、それを架台に取り付け船舶に艀装する。そして、船舶を航行させながら岸壁面水中部を撮影し、専用のソフトウェアで岸壁面全体画像を作成する。

次に、得られた岸壁面全体画像から変状箇所を抽出し過去の点検履歴との比較などから、詳細な点検の必要性を判断するなど、点検作業を効率化するシステムの開発を目標とする。

2.2 開発計画

本開発は、平成20年度からの3カ年計画であり(表-1)、平成20年度は、必要となる構造物水中部分全体の画像作成を行っている。

なお、本開発は国際航業(株)との共同研究であり、平成20年度に実施した現地撮影試験状況を報告するものである。

表-1 年次計画

項目	H20	H21	H22
水中部非破壊点検・計測手法の検討	○		
音響カメラの現場適合性試験	○		
各点検・計測センサー取得データの解析手法開発	○	○	
各点検・計測センサー、データ解析手法の全体システム化	○	○	○
水中部点検・計測システムの性能要件作成			○

3. 撮影装置の概要

撮影装置を選定するに先立ち、現状の点検調査方法を把握するため、実態調査及び点検技術の動向調査を実施した。

そして、撮影装置については可視画像法と音響画像法の得失について比較検討した結果、超音波を使用した「音響カメラ¹⁾」を採用した。

3.1 音響カメラ

音響カメラ本体を写真-2に示す。(外寸 32.5×22.4×18.4cm, 重量(空中) 13.2kg)

この音響カメラ(DIDSON (Dual-Frequency Identification Sonar))は、周波数 1.8MHz (または、1.1 MHz) の音波を使用し、水平方向 29° (= 幅 0.3° 間隔×96 ビーム)、垂直方向 14°幅のビームパターンを形成する(図-2)。そして、8回の送受信サイクルに分割したビーム画像ラインを張り合わせて1画面を形成し、毎秒 4~21 フレームの画像を提供可能とする。

画像は、水平方向に 96 分割、垂直方向に 512 分割で照射された音波の反射強度により画像化され、反射エコーが強ければ明るい光、弱ければ薄暗い光にかえて画面上で輝かせることで、白黒の映像を作り出す。

従って、周囲の明暗や海水の濁度に関係なく撮影することができる(写真-3)。



写真-2 音響カメラ本体

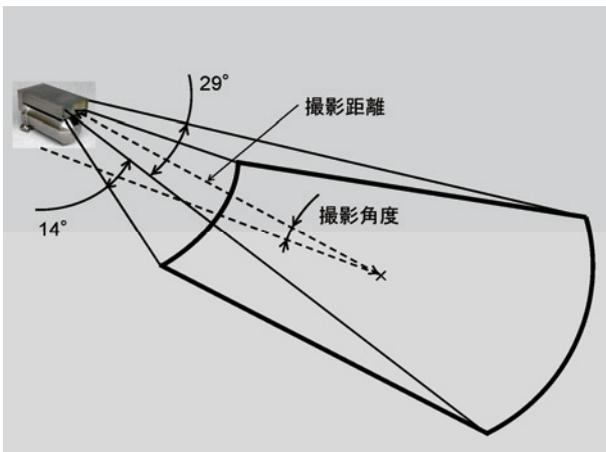


図-2 撮影範囲

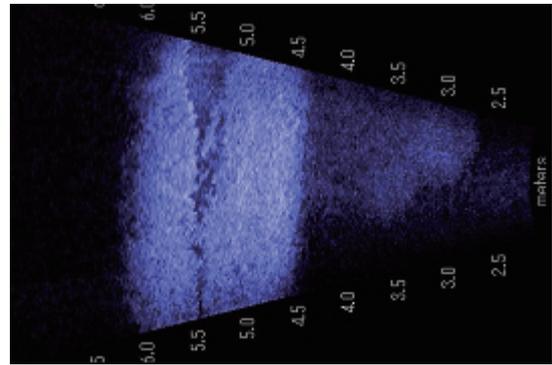


写真-3 音響カメラによる画像

3.2 分解能

音響カメラを使用し、水槽及び実海域において、撮影試験を行った。

その結果、既存調査で報告されている構造物変状箇所やケーソン目地を音響カメラの再生画面で認識することができた。

また、音響カメラで見逃した欠損箇所がないか潜水目視点検を実施したが、新たな欠損箇所は見つからなかった。

これらから、現地で撮影した映像の分解能は、潜水土の目視程度(透明度が低い状況では潜水土以上)を確保していることを確認した。

4. 撮影方法

次に、分解能を確保しつつ岸壁面全体を撮影する方法を検討した。

音響カメラは指向性の鋭い超音波を使用しており、分解能を高めるために至近距離での撮影が必要となる。このため、撮影範囲(フットプリント)が狭くなり、撮影方法に工夫が必要となる。

このため、音響カメラを取り付けた船舶を水平方向に移動させることにより、各水深部を撮影することとした。

具体的には、船舶に艀装したポール状の架装装置先端に音響カメラを取り付け、船舶を岸壁と一定距離を保ちながらゆっくりと航行させ撮影を行う。この作業を水深に応じて繰り返す。

このとき、撮影距離は安全性を考慮して、船舶・岸壁間の距離を 3.5m に、また、試験結果より撮影角度は 10~45 度が良好であるが、撮影距離は近距離ほど画像が良好であることから、撮影角度は撮影距離が最短となる 45 度とし、撮影距離を 5 m とした(図-3)。

以上の条件で水深方向に撮影幅 1.9m を確保でき、重複部を考慮しても 1.5m 間隔で各水深部を撮影することができる(図-4)。

また、船速は可能な限り遅いほうが好ましいため、1ノット程度で撮影試験を行った。

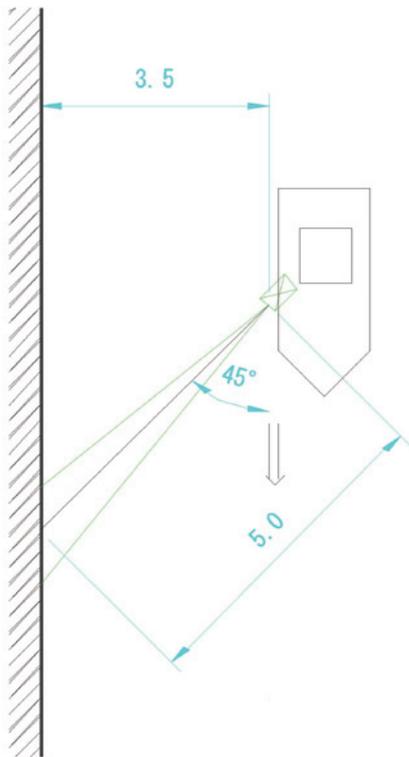


図-3 撮影方法（平面図）

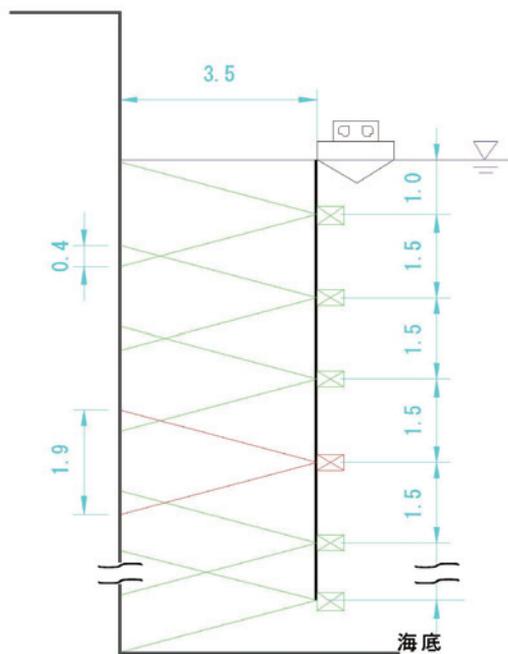


図-4 撮影方法（断面図）

5. 架装装置

次に、撮影方法を満足する架装装置を試作した。主要部材であるポールは、-14m 岸壁撮影を想

定し、喫水から 13m 程度伸ばすことが可能であり、また、可搬時には 2.7m まで縮めることができる、伸縮可能な構造とした（図-5）。

カメラ位置は 1~13m の範囲で固定可能であり、手動のワイヤーロープ巻上機で位置調整し、撮影位置でポールが縮まないよう、エアで加圧することにより固定する仕組みとした。

また、材質はアルミ合金及びステンレス製で、重量は 150kg 程度であり、小型船舶にも搭載できる。

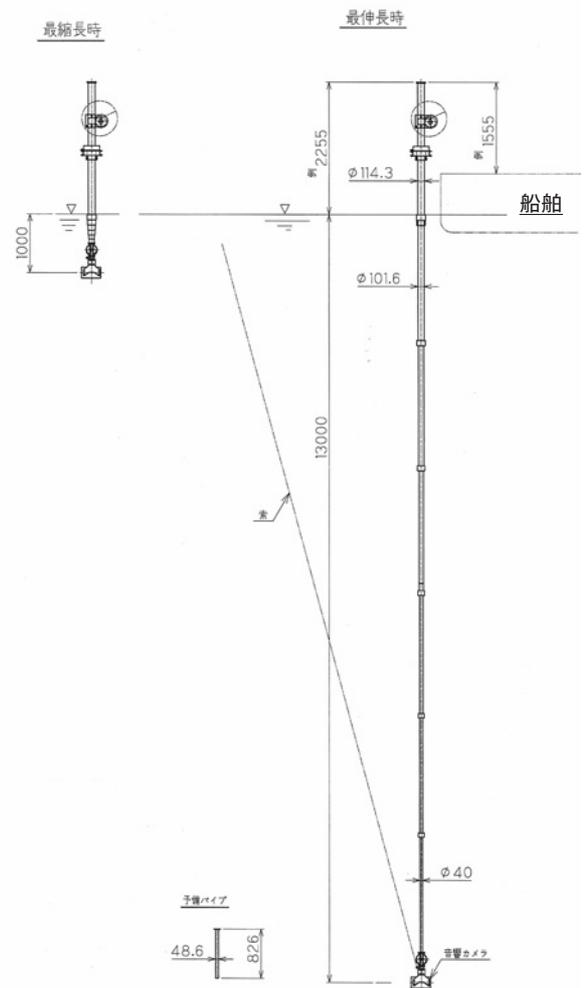


図-5 架装装置

6. 計測機器類

次に、音響カメラでの撮影で得られる、毎秒数フレームの各画像データに対し、それらが岸壁面のどの位置の画像であるかを把握する必要がある。

そのため、音響カメラと岸壁側面間の距離を RTK-GPS による位置情報により把握（または、音響測深器により実測）し、更に、音響カメラの姿勢情報をモーションセンサーにより計測することで撮影位置を特定する。

撮影試験では、その他にジャイロコンパスなどを使用し、各データを取得した。

また、リアルタイムに計測した各データは、画像取得用に1台、各データ取得用に1台の計2台のPCで取得し、取得時刻はGPS時刻データにより同期した。

架装装置（試作機）の艀装状態と各計測機器類の取付状態を写真-4、5に示す。

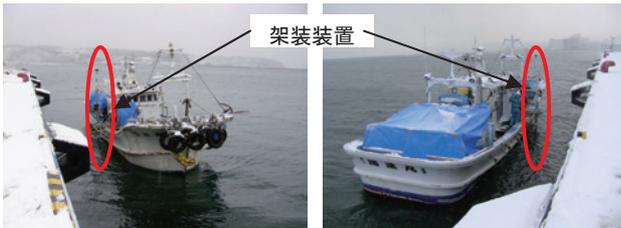


写真-4 架装装置の艀装

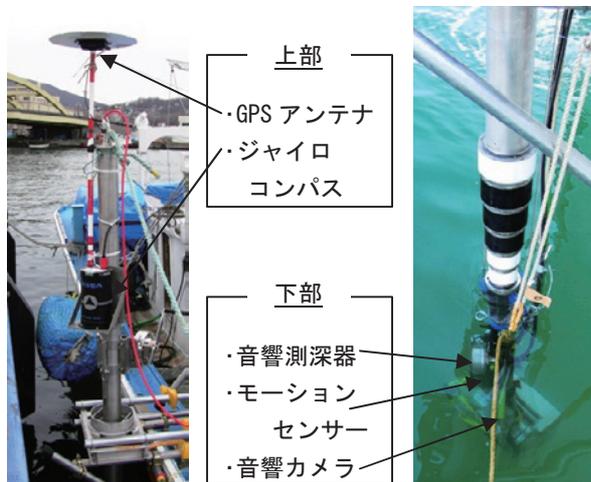


写真-5 架装装置、計測機器類

7. 撮影試験

平成20年度は、撮影試験を実施し、機器類の構成とデータ取得方法の確認、架装装置性能の検証を行った。

撮影試験場所は北海道小樽市の小樽港・港町ふ頭 (-14m)、第2ふ頭 (-9m)、第3ふ頭 (-9m) の岸壁側面で行った。

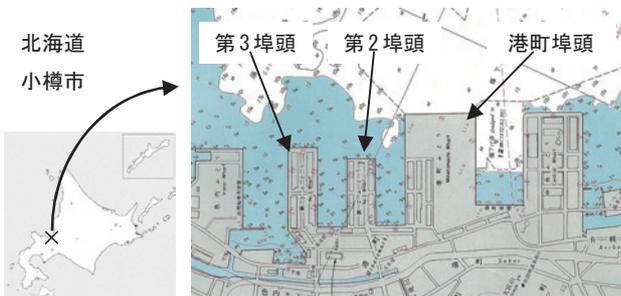


図-6 試験箇所

8. 取得画像の処理

次に、撮影試験において得られた画像と各計測データより「画像解析ソフトウェア」を使用し岸壁面画像（以下、モザイク図）を作成した。

8.1 モザイク図の作成

画像データ1フレームにおいて音波の反射強度が強い部分（すなわち、明るい部分）を処理範囲とし（図-7）、各水深のモザイク画像、さらに、岸壁面全体のモザイク図（写真-6）を作成した。

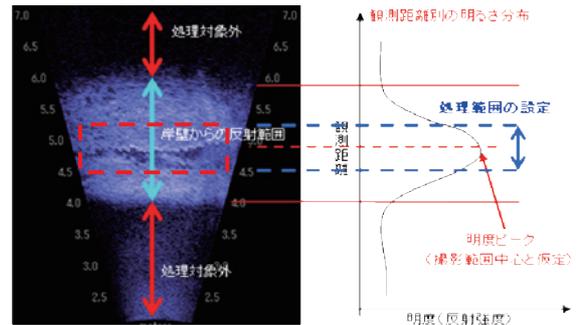


図-7 処理範囲の決定

なお、モザイク図の作成方法としては以下の方法を検討した。

音響カメラの位置情報（水平方向、鉛直方向）、姿勢情報より、対象構造物の相対的な位置関係を用いて幾何学的補正・接合を行う方法と、得られた画像のみから幾何学的補正・接合を行う方法の2つである。

前者では、画像取得時（フレーム毎）のカメラ位置、姿勢情報（ロール、ピッチ、撮影方位）と構造物での3次元情報（あるいは音響カメラと対象構造物までの距離）が必要となる。

8.2 モザイク図の評価

今回作成したモザイク図は写真-6のとおりである。

試験では、コンクリート平板表面にクラック等を疑似再現した供試体を製作し、各水深で横方向同位置に設置することで、分解能、位置精度を確認した（写真-7）。

また、写真-8は、供試体付近部分を拡大したものである。

結果として、各水深で横方向同位置に設置した供試体に、最大2m程度のぼらつきが見られ（目地も同様）、位置精度に課題が残った。原因として、音響カメラと岸壁面間距離の計測誤差、架装装置ポールの撓みによる音響カメラ位置誤差などが考えられる。

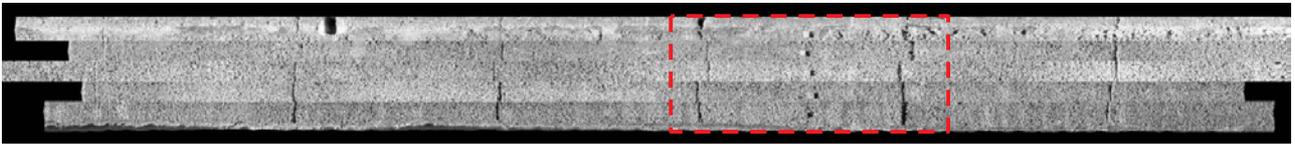


写真-6 モザイク図 (9m×約 150m)

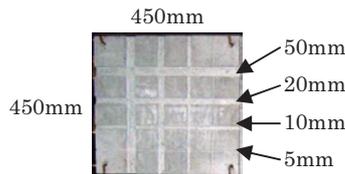


写真-7 供試体

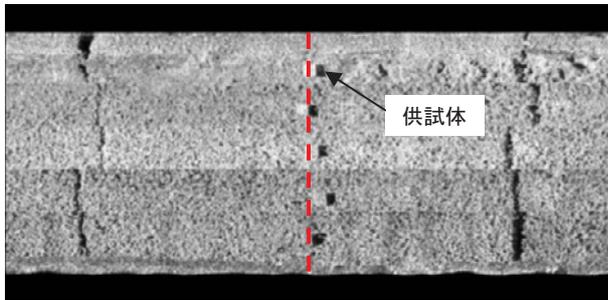


写真-8 モザイク図 (拡大)

また、供試体の撮影から、約 3cm の分解能を確認した。

9. 今後の課題

以上のとおり、H20 年度は撮影試験、及びモザイク図作成を行った。更に位置精度の高いモザイク図を得るため、問題点を抽出し検討事項を整理した。

9-1 機器類の構成とデータ取得方法の確認

モザイク図を構成する個々の画像フレームの位置精度を向上させるには、音響カメラと岸壁面との垂直距離を正確に計測することにある。

垂直距離の誤差は岸壁面の横方向の位置誤差に直接影響するため、垂直距離をより高精度に計測する方法を検討する。

9-2 架装装置改造

最伸長時には約 15m となるポール状の架装装置には、上部先端に RTK-GPS アンテナ、水中部先端（下端）に音響カメラが固定され、上部から約 1.5m 程度の位置で船体に固定している。撮影時はポール部分が水流抵抗を受け、また、先端部の音響カメラもその形状から大きく水流抵抗を受け、ポール自体には偶力による撓みが生じていると推測される。

以上より、RTK-GPS による誤差を 1~2cm 程度

とすると、ポールの撓みによる誤差はそれ以上と推測されることから、ポール部を改造し撓みの少ない構造とすることを検討する。

また、架装装置を艀装するため単管パイプにより架台（写真-9）を組んだが、設置に多くの時間を要したほか、必要な強度が得られず、運用面で問題があった。

そのため、架装装置を船舷に確実に固定できる艀装用架台を製作し、短時間で確実に艀装する方法を検討する。



写真-9 単管パイプによる艀装用架台

9-3 画像解析ソフトウェア改造

モザイク図を作成する画像解析ソフトウェアに対しては、良好なデータを提供する必要がある。

また、画像解析ソフトウェアにおいては、撮影条件に応じた対応など、プログラムの改良を検討する。

また、現状ではモザイク図を水深に応じて作成しているが、それらを水深方向に繋ぎ合わせる方法を検討する。

運用面では、撮影後に短時間でモザイク図が作成され、その場で変状箇所を把握可能とする必要があるため、操作性、汎用性の向上を検討する。

9-4 港湾構造物劣化診断システム

港湾構造物水中部劣化診断システム（以下、劣化診断システム）の概略構想を示す（図-8）。

構想中の劣化診断システムは、画像解析ソフトウェアにより作成されたモザイク図を使って、過去の点検データとの比較や、詳細点検の実施を、船上にて可能にする支援ツールである。

劣化診断システムでは、縦断図の水中部を実

際に撮影したモザイク画像と重ね合わせ、変状箇所・状況を付記したものとする（図-9）。また、変状箇所の重要度が高い場合などには、詳細な撮影を行い記録可能とするが、詳細については、今後、機能要件・仕様を含めて検討する。

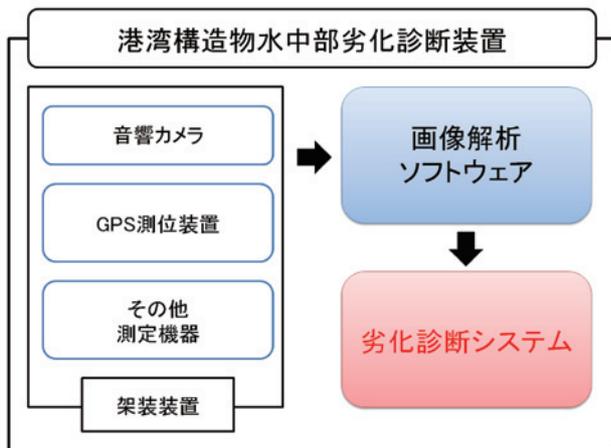


図-8 劣化診断装置の概略構想

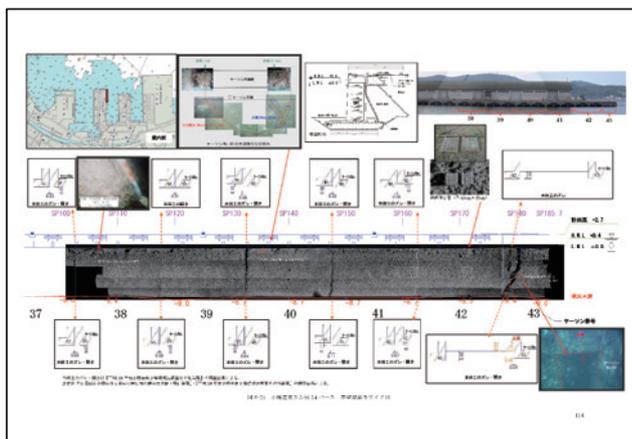


図-9 健全度点検結果イメージ

10. まとめ

構造物水中部の撮影を潜水士に頼らず可能とするため撮影試験を行ったが、十分満足できる分解能を得ることができた。

本年度も引き続き撮影試験を実施し、画像解析ソフトウェアや、架装装置改造の検証などを行い、精度の高いモザイク図作成を行う。

運用面では、サイクルタイムの計測・コスト比較を行い、実運用試験を行う。

今後は、各点検・計測技術の開発を更に進めるとともに、取得データの管理、解析手法を含めたシステム全体の検討を行い、港湾及び漁港管理者による施設の機能保全に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 浅田 昭：音響ビデオカメラと海中作業，作業船，第 265 号，pp.14～19，2003.1
- 2) 北海道開発局：平成 18 年度港湾構造物水中部劣化診断業務報告書
- 3) 北海道開発局：平成 19 年度港湾構造物水中部劣化診断業務報告書
- 4) サウンドメトリックス社 HP (<http://www.soundmetrics.com/>)