

第32回

千葉県非破壊検査研究会・研究発表会

講演資料

日時 平成30年2月6日(火)

13:10~16:45

場所 ホテルポートプラザちば

目次

1. 研究発表

- ①渦電流試験による鋼管の腐食検出における保護材の影響 1
日本大学大学院生産工学研究科 藤田佳秀
- ②炭素繊維強化プラスチックに対する渦電流探傷法に関する研究 8
日本大学生産工学部電気電子工学科 鳥海純一
- ③炭素繊維複合ケーブルに対する非破壊検査法の検討 10
日本大学生産工学部電気電子工学科 教授 小山潔
- ④「身の丈IoT」活用へ向けた実証事例 12
千葉県産業支援技術研究所 生産技術室 主任上席研究員 大谷大輔
- ⑤超音波映像装置の適用事例について 15
㈱日立パワーソリューションズ コンサルティングエンジニアリング本部
超音波装置システム部 主任技師 富田隆
- ⑥ヴェトナムの復興と最近の工業情勢 23
元JFEエンジニアリング(株) 山崎利一
- ⑦松嶋正道氏を偲ぶ 26
立川NDTテクノ 立川克美 15:20~15:30

2. 特別講演

- 演 題 : レーダによる社会インフラ非破壊検査の最新動向
— MPLA による探査事例のご紹介 — 29
- 講 師 : 三井造船(株) 機械・システム事業本部 社会インフラ統括部
電子・制御グループ 菅谷 篤 氏

渦電流探傷試験による鋼管の腐食検出における保護材の影響

Fundamental Studies on Influence of Protective Materials for Corrosion Detection of Steel Pipe by means of ECT

○藤田 佳秀*¹ 小井戸 純司*² 日比野 俊*³ 加藤 修平*²
Yoshihide FUJITA Junji KOIDO Takashi HIBINO Syuuhei KATOU

*¹ 日本大学大学院生産工学研究科

*² 日本大学生産工学部電気電子工学科

*³ 日本大学生産工学部研究員

College of Industrial Technology, Nihon University

1. まえがき

現在、多くのプラント等では、液体、ガスなどを、鋼管を用いた配管により輸送している。これらの鋼管は一般的に断熱材とその上の保護材（薄鋼板）で覆われている。現状では断熱材と保護材を部分的に撤去して検査をしているが、断熱材と保護材を撤去せずに検査したいという要望がある。これに対し渦電流試験を適用すると、断熱材の厚さによる大きなリフトオフと、保護材が強磁性体であるために磁束が鋼管に届きにくいという制約がある¹⁾。そのため、腐食の有無による試験コイルのインピーダンス変化は非常に小さいと予想される。そこで、そのような保護材の影響を定量的に解析するため、保護材の下に置いた導電率の異なる導体に対する試験コイルのインピーダンス変化が、保護材がある場合とない場合でどれだけ異なるか、さらに大きなリフトオフ下でのきずの検出方法の検討をし、いくつかの知見を得ることができたのでその概要を報告する。

2. 原理

2.1 腐食検出の際の問題点

今回の研究では Fig.1 に示すように鋼管の周りに断熱材がありその上に保護材がある。鋼管の腐食を検出の際の問題点としてまずこの保護材が日本では一般的に亜鉛鋼板がよく用いられており電気磁気的特性として導電率が高く比透磁率も強磁性体であるために大きい。そのため Fig.2 のように保護材で電磁誘導現象が起こりコイルからの磁束が打ち消され鋼管まで届きにくい。さらに断熱材は電気的特性が空気と同じで導電率はなく、比透磁率は 1 であるが、断熱材には大きなリフトオフがあるために、これによってもコイルから発生した磁束が鋼管まで届きにくく腐食検出が困難となる。

2.2 腐食検出問題の解決法

保護材は強磁性体材料であるため電磁石などで外部から強い磁界を与えると磁気飽和し、比透磁率が 1 に近い値となる。これによって保護材の影響が緩和され、亜鉛鋼板を介して鋼管の腐食検出が可能となると考える (Fig. 2(c) 参照)。一方、

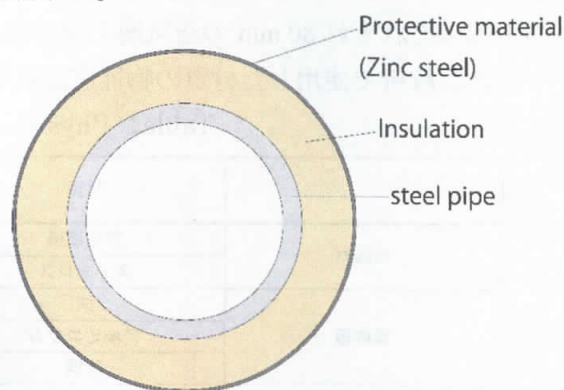


Fig.1 Cross sectional view of steel pipe

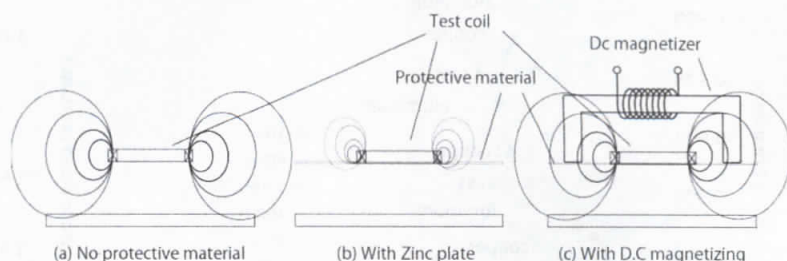


Fig.2 Influence of protective material

リフトオフが大きいとコイルから発生した磁界が鋼管まで届きにくいことが考えられるので、励磁コイルの径を大きくする。また、SN 比を向上するため検出コイルの巻数を増加し、さらに励磁コイルから発生する磁束を強くするために交流の励磁電流を増幅回路により増幅する。これらによって保護材を介して鋼管の腐食が検出可能になると考える。

2.3 保護材の影響の定量的評価

保護材があると、試験コイルの磁束が保護材からの磁束に打ち消されるための、その下にある試験体に届きにくくなり、試験体の状態の変化が検出しにくくなる。保護材の影響を定量的に評価するために、変化の小さい腐食検出ではなく、より変化の大きな導体の導電率の変化を検出することに置き換えてその程度を確認する。金属の非磁性材料は電気をよく通し、また比透磁率が 1 であり、今回の実験ではそれぞれの材料の形状が同じであるため導電率の違いによる試験コイルのインピーダンス変化が材料判別の要因となる。

3. 有限要素法 (FEM) と実測による保護材の影響

3.1 FEM による検討

3.1.1 FEM による材料判別のシミュレーション方法

動磁場解析ソフト「EDDYj ω 」を使用し、解析モデルを作成した。要素数が多いことで計算過程において計算誤差が蓄積されてしまう恐れがあるためモデルの対称性を利用し、1/2 モデルとした。試験体である導体板は非磁性材料で 3 種類(黄銅、アルミ、銅)でありそれぞれの形状は 160×160×5 mm である。保護材は 3 種類(なし、ステンレス、亜鉛鋼板)でありそれぞれの形状は 60 ×60×0.3mm、励磁コイルの平均径は 16 mm、厚さ 2 mm で、また励磁電流は 100 mA とした。また、保護材と導体板間には断熱材が存在すると仮定して、20 mm のギャップを設け、さらに励磁コイルの上端と導体板の下端にそれぞれ 80 mm の空気層を設けた。周波数は 10 Hz から 10 kHz まで行った。

また、解析で使用した材質の物性値は以下のように設定した。

Table1. Physical property values

	材質	物性値	
		比透磁率	導電率[S/m]
保護材	亜鉛鋼板	341	6.25×10^6
	ステンレス	1.00	1.30×10^6
導体板	銅	1.00	5.81×10^7
	アルミニウム	1.00	3.50×10^7
	黄銅	1.00	2.00×10^7

3.1.2 FEM による材料判別のシミュレーション結果

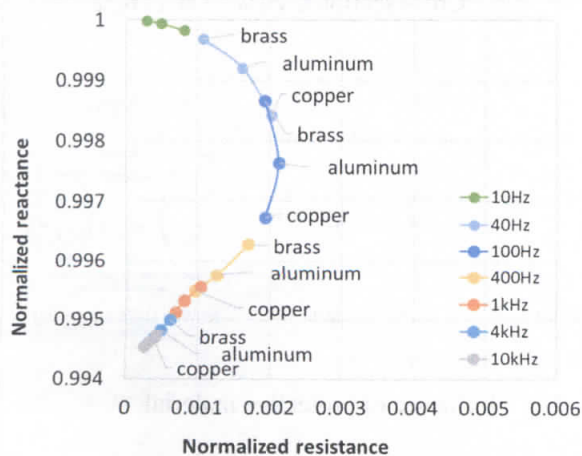


Fig.3 Impedance loci for no protective material

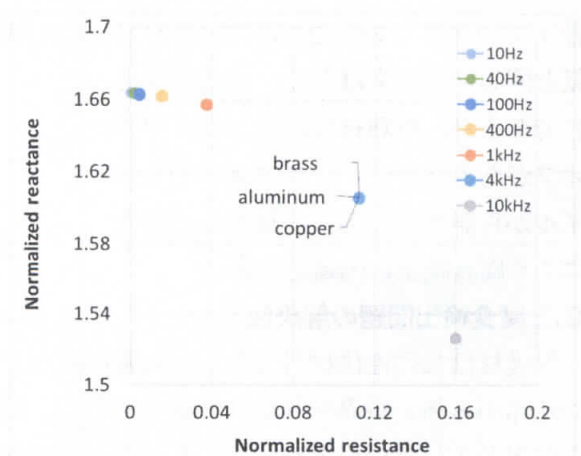


Fig.4 With protective material (Zinc steel plate)

Fig.3 は保護材がない場合である。この時の正規化インピーダンスのグラフの軌跡は周波数と導電率によって同一曲線状になることが分かり、それぞれの周波数で材質判別ができていたことがわかる。Fig.4 は保護材が亜鉛鋼板の場合である。正規化リアクタンスの値が強磁性体であるので1を超えておりどの周波数においても変化が見えにくくなっていることが分かる。Fig.5 は保護材がステンレスの場合である。ステンレスは非磁性材料であるので正規化リアクタンスの値が1を下回っていることがわかる。ここで材質判別をよりわかりやすくするため、黄銅を基準として変化分を取ったベクトル図を作った。

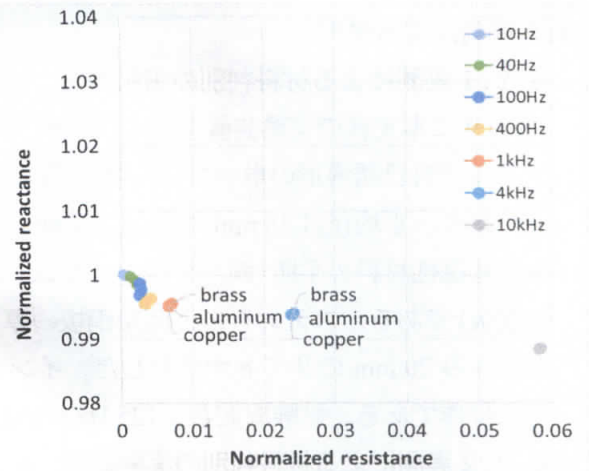


Fig.5 Protective material (stainless plate)

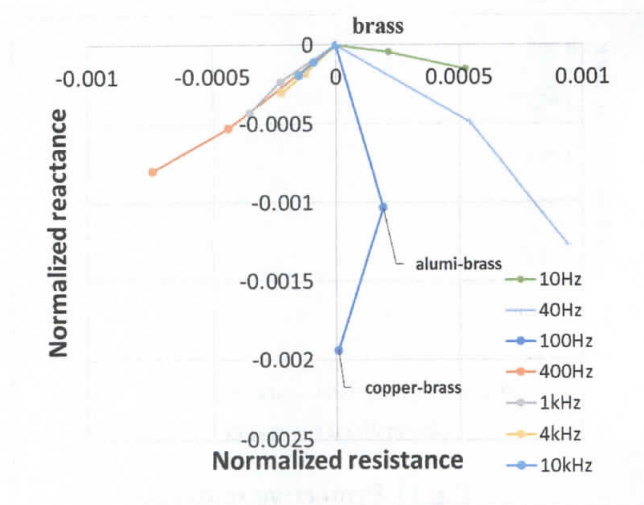


Fig.6 Change in conductivity no protective material

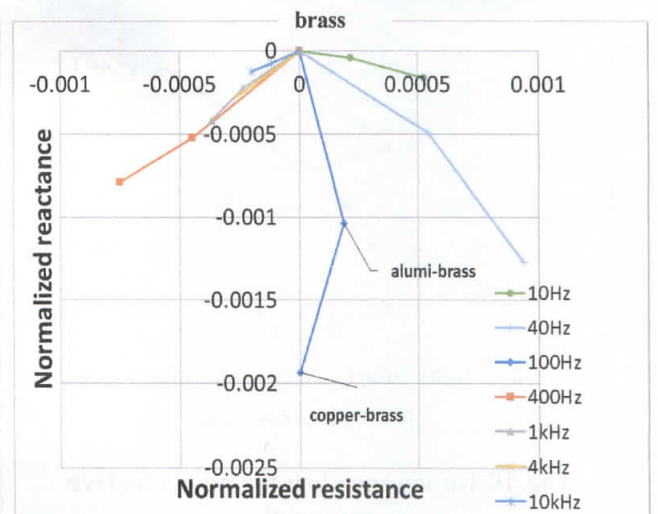


Fig.7 Protective material (stainless plate)

Fig.6 は保護材がない場合の黄銅を基準とした変化分のベクトル図であり、Fig.7 は保護材がステンレスの場合の黄銅を基準とした変化分のベクトル図である。両図から 100 Hz が最も変化が大きく見えており、保護材がない場合と保護材がステンレスである場合では変化分がほとんど同じであるから保護材がステンレスであれば保護材下の材料判別に影響は少ないと考えられる。

Fig.8 は保護材が亜鉛鋼板の場合の黄銅を基準とした変化分のベクトル図である。保護材が強磁性体である亜鉛鋼板である場合、保護材がステンレスの時に比べて非常に小さいが、変化が全くないわけではないことがわかる。

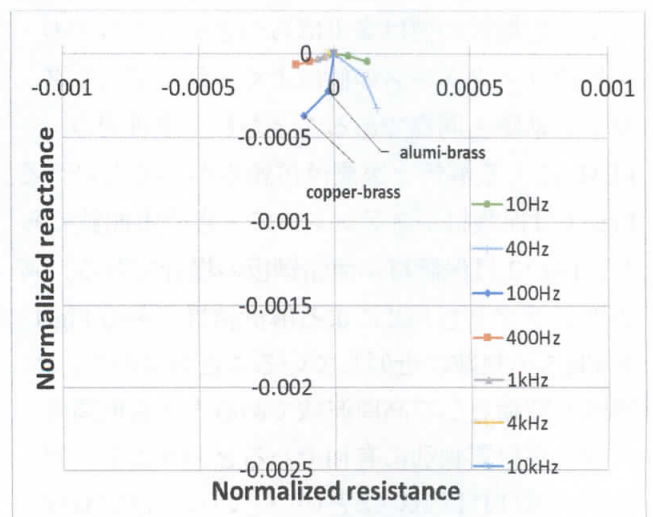


Fig.8 Protective material (Zinc steel plate)

3.2 実測による検討

3.2.1 実測による材料判別の実験方法

Fig.9 に本実験の実験装置を示す。試験コイルは自己誘導形の単一プローブを用いており、平均径は 16 mm である。試験体は非磁性材料の平版(銅、アルミニウム、黄銅)であり、保護材は 3 種類(なし、ステンレス、亜鉛鋼板)である。ステンレスと亜鉛鋼板の厚さは 0.3 mm、試験プローブと試験体の間にアクリル板をはさみ 20 mm のリフトオフとした。インピーダンスメーターは市販の汎用器であり、試験プローブは自作である。試験周波数、125 Hz~16 kHz で実験を行った。

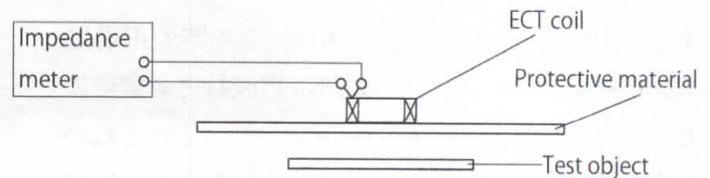


Fig.9 Eddy current test equipment

3.2.2 実測による材料判別の実験結果

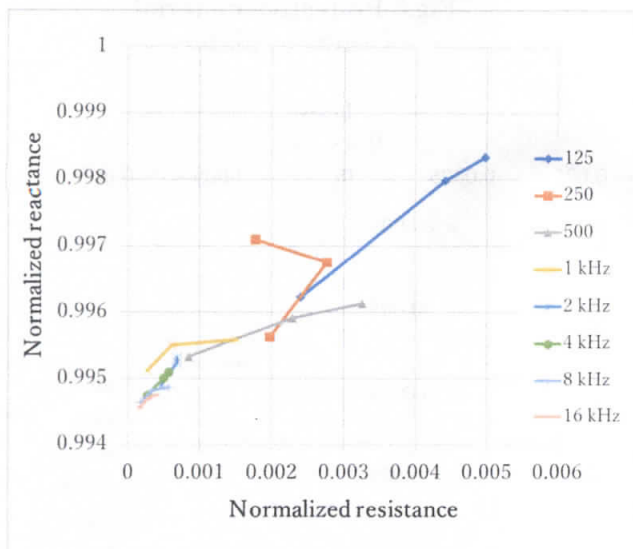


Fig.10 Impedance loci for no protective material

Fig.10 は保護材がない場合の正規化インピーダンスを示す。FEM の結果である Fig.3 と比較すると正規化抵抗の値は多少ばらつきがあるものの正規化リアクタンスの値はよく一致しておりグラフの軌跡も同様であることから、本研究の FEM による解析と実測は信頼性があるといえる。Fig.11 は保護材がステンレスのときの実測値であり、Fig.12 は保護材が亜鉛鋼板の場合である。両方のグラフとも FEM による解析結果である Fig.4 と Fig.5 の軌跡に近似していることが分かる。本実験の結論として高周波数であるよりも低周波のほうが材質判別に有利であるということ、周波数は低ければ低いほどいいというわけでもなく 100 Hz が最も適しているということ、強磁性体である亜鉛鋼板では保護材下の導体の材料判別は難しいが、検出する可能性が若干ある。保護材が非磁性体であるステンレスであれば保護材下の材質判別が十分可能であるということなどが確認できた。

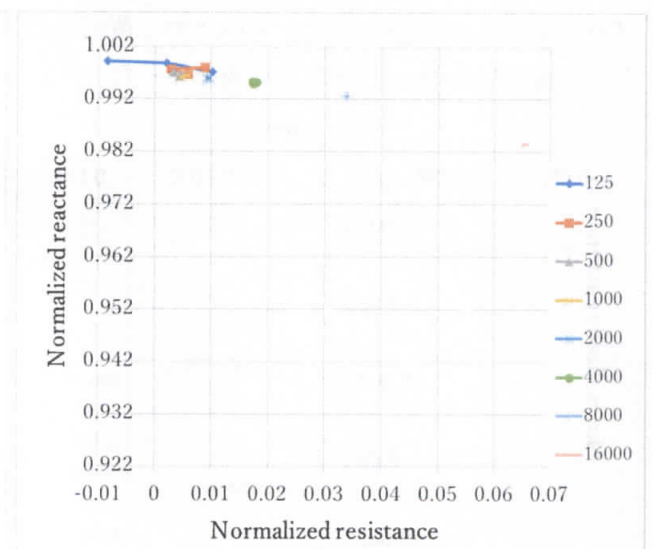


Fig.11 Protective material (stainless plate)

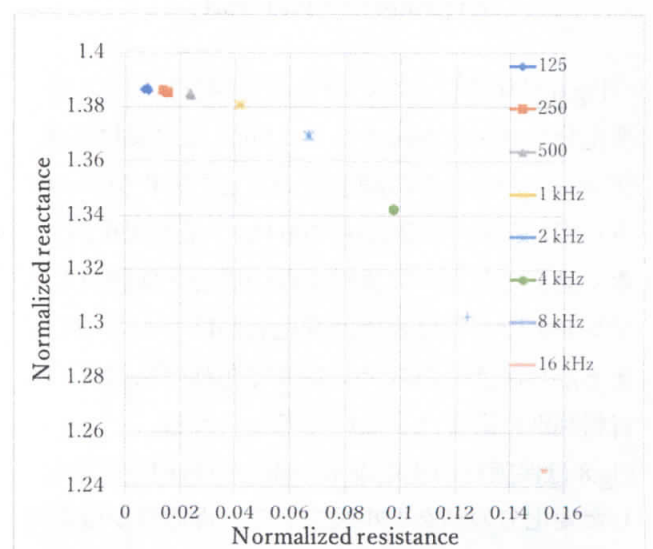


Fig.12 Protective material (Zinc steel plate)

3.3 渦電流試験による亜鉛鋼板の直流磁化状態の検討

3.1 および 3.2 で述べたように、保護材が強磁性体である亜鉛鋼板の場合、保護材の影響が大きく保護材下の金属の材質判別が難しいことを確認した。しかし、非磁性材料であるステンレスであればほとんど保護材の影響がないことがわかったため、亜鉛鋼板に電磁石で直流磁界をかけて磁気飽和させることにより比透磁率を 1 に近づけ、保護材の影響を低減させることができるかを検討した。

3.3.1 直流磁化させた亜鉛鋼板の透磁率の確認方法

Fig.13 は実験装置を示す。試験コイルは自己誘導形の単一プローブを用いており、平均径は 16 mm である。直流磁化器は 200×220×10 mm の鉄心に直径 1 mm の導線を 931 回巻の励磁コイルとした。磁化電流は 0 A から 0.2 A ずつ、最大 1.8 A まで変化させた。保護材である亜鉛鋼板は厚さ 0.3 mm のものを使用した。

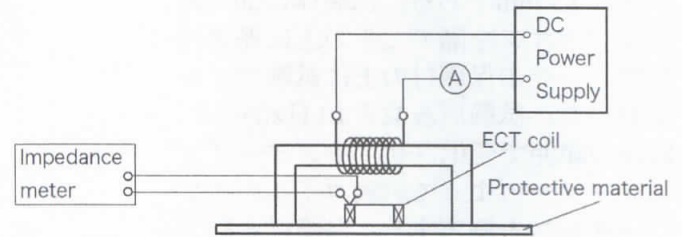


Fig.13 Eddy current test equipment

市販の汎用器であるインピーダンスメーターを用いて試験コイルのインピーダンスを測定した。

まず、FEM で透磁率を変えた亜鉛鋼板でシミュレーションを行いそれと比較して直流磁化させた亜鉛鋼板の透磁率を確認する。Fig14 は FEM でシミュレーションを行った結果の正規化リアクタンスと比透磁率の関係のグラフ、および、実測データの電流と正規化リアクタンスの関係のグラフを周波数別にし、まとめたものである。FEM のデータは比透磁率が下がるにつれて正規化リアクタンスが下がっていることがわかる。実測データは電流が増えると正規化リアクタンスが下がっていることから、磁気飽和に向かっていることがわかる。

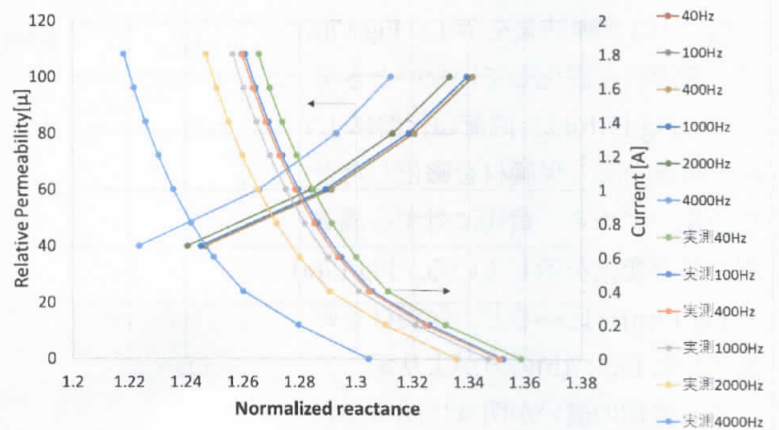


Fig.14 Comparison between actual measurement and FEM

Fig15 は Fig14 のデータをもとに FEM のグラフデータから近似式を作り実測データの正規化リアクタンスの値を代入し比透磁率を求め、実測の電流と比透磁率の関係を導いたグラフである。グラフ

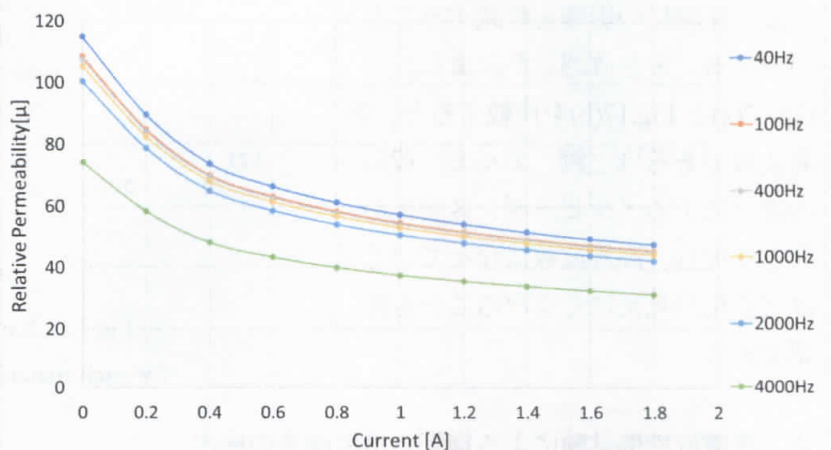


Fig.15 Relationship between magnetic permeability and electric current

から 1.8 A で亜鉛鋼板を磁化させた場合、周波数 100 Hz のときは比透磁率が 40 まで下がっていることが確認できた。

3.3.2 磁気飽和させた保護材の影響

Fig.16に実験装置を示す。直流磁化器と単一試験コイルはFig.13のものを使用している。試験体は非磁性材料の平版(銅、アルミニウム、黄銅)であり、それぞれの形状は $100 \times 100 \times 5$ mmである。保護材は亜鉛鋼板であり、亜鉛鋼板の厚さは0.3 mmである。試験体に20 mmのリフトオフを隔ててその上に保護材を置き、その保護材の上に試験コイルを置いた。試験周波数を40 Hzから4 kHzの範囲で変化させ、インピーダンスメーターによって試験コイルのインピーダンスを測定する。保護材を磁化していない状態と磁化している状態を比較し、保護材による影響を検討する。

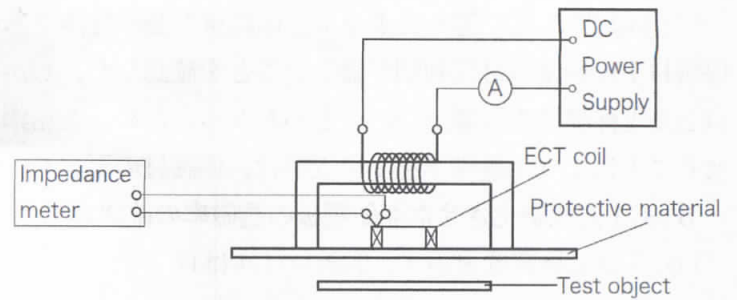
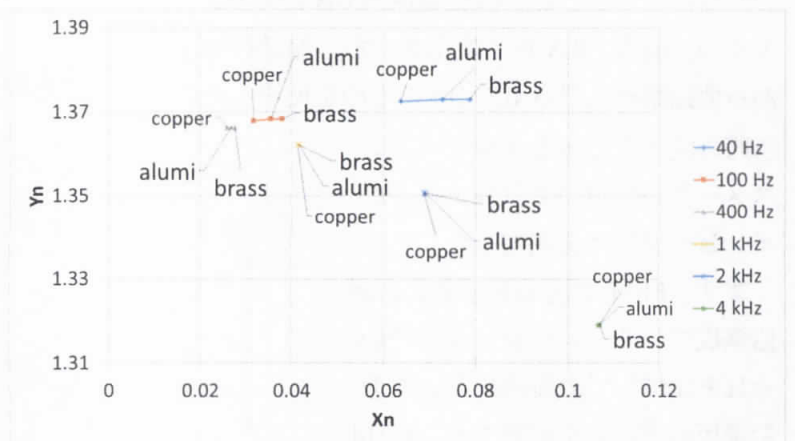
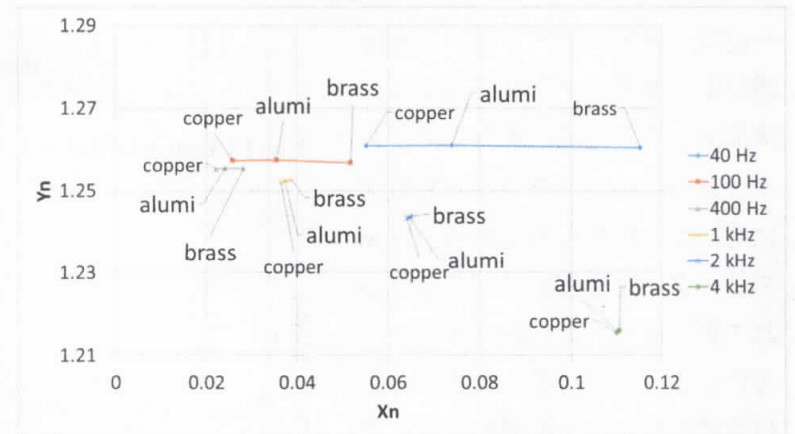


Fig.16 Eddy current test equipment

Fig.17は実験結果を示す。Fig.17(a)は、保護材を磁化していないときであり、Fig.17(b)は、直流磁化器に1.9 Aの電流を流し保護材を磁化したときの銅、アルミ、黄銅に対する渦電流信号の変化を示している。Fig.17(a)とFig.17(b)を比べると、保護材を磁化させたFig.17(b)の方がより銅、アルミ、黄銅の違いが明確に出ることが確認できた。このことから保護材を磁化させ比透磁率を低くすることにより保護材の影響を軽減することができることを確認した。また、Fig.17(a)とFig.17(b)を比較すると、低周波数であるほど銅、アルミ、黄銅の違いによるインピーダンス変化が大きく現れ、高周波数になっていくほど変化が見えにくくなることも確認できた。



(a) $I_{DC}=0$ A



(b) $I_{DC}=1.9$ A

Fig.17 Changes of test coil impedance for each material through protective material

4. 渦電流探傷試験による鋼管の模擬腐食の検出

本実験では通常の渦電流探傷試験で50 mmという大きなリフトオフでの探傷が可能かどうかの検討を行った。保護材がない状態で鋼管の外面に加工した人工きず(模擬腐食)を検出する実験を行ったが、市販の渦電流探傷器で行ったところ、50 mmというリフトオフ下ではきずの検出ができなかったため、検出コイルの改善や電力増幅器を使用して励磁電流を増加させることでSN比を向上させることによりきずの検出が可能となると考えた。

4.1 実験方法

本実験の実験装置を Fig.18 に示す。鋼管は厚さ 5 mm、長さ 1,600 mm、外径 165 mm であり、その外面に直径 10 mm、減肉率 70、50、30、10 % の平底ドリル穴を 200 mm 間隔で模擬腐食として加工してある。励磁コイルは外径 165 mm、巻線径 0.5 mm、巻数 60 回、検出コイルは平均直径 22 mm、巻線径 0.12 mm、巻数 1,120 回で作製した。さらに、交流の励

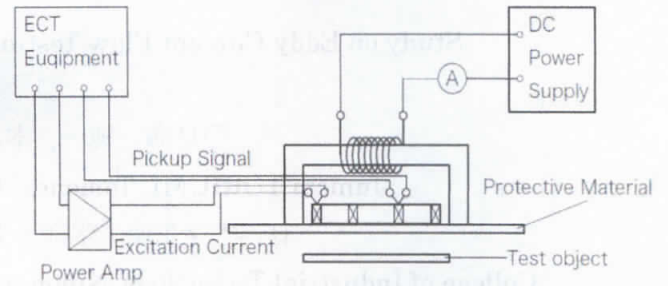


Fig.18 Experimental apparatus for ECT

磁電流を増幅回路を使用し増幅した。鋼管上の試験コイルのリフトオフを 50 mm に保ち、模擬腐食上を走査し、デジタルオシロスコープによって ECT 装置の出力信号を記録した。

4.2 実験結果

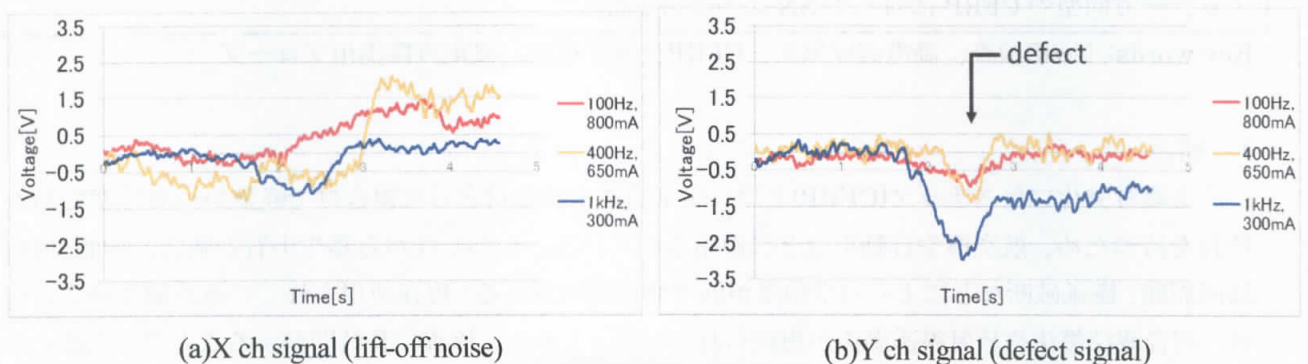


Fig.19 Steel tube by means of eddy current testing

Fig.19(a)、(b)は、それぞれ試験体の減肉率 70 % の外面きずに対する探傷波形を示している。リフトオフの雑音は X ch に出力されるように同期検波の位相を調整し、Y ch にリフトオフ以外の検出信号が出力されるようにした。Fig.17(b)を見ると、どの周波数でもきずと思われる信号が得られており、周波数が高いほうがきずの検出信号が大きく、SN 比が良い。

5. 終わりに

本研究では保護材の影響と大きなリフトオフ下でのきずの検出について検討した。非磁性材料であれば磁束が保護材下の試験体に届くことを確認し、SN 比を向上させることにより大きなリフトオフ下でもきずの検出が可能となった。今後、保護材下でのきずの検出の検討と強磁性体である亜鉛鋼板の影響を少なくすることについて検討を加える。

参考文献

- 1) 真保他、保護材上からの鋼管腐食について、第 20 回表面探傷シンポジウム、pp.47-50(2017)

炭素繊維強化プラスチックに対する渦電流探傷法に関する研究

Study on Eddy Current Flaw Testing for Carbon Fiber Reinforced Plastic

○鳥海 純一、本宮 寛憲、小山 潔

Junichi TORIUMI, Tomonori HONGU and Kiyoshi KOYAMA

日本大学生産工学部：千葉県習志野市泉町 1-2-1

College of Industrial Technology, Nihon university: 1-2-1 Izumicho Narashino, Chiba

概 要

炭素繊維強化プラスチック（以下 CFRP）に対する非破壊検査法として矩形縦置き励磁コイルと 2 つの矩形縦置き検出コイルから成るプラスプローブを提案する。従来では Θ プローブを用いた場合、一方向型の CFRP に対して SN 比が低い結果となっていた。そこでプラスプローブを用いることにより、一方向型の CFRP に対して SN 比の改善を行った。

Key words:非破壊検査、渦電流探傷法、CFRP、きず検出、渦電流探傷用プローブ

1. 緒言

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)とは、炭素繊維を強化材とした複合材で軽量かつ高強度である特長を持つため、航空機や自動車などに適用されている。しかしながら鳥や小石の衝突、樹脂割れ、層間剝離、繊維破断などにより力学強度が低下する問題がある。現在使用されている非破壊検査方法は、超音波探傷法や放射線透過法が用いられている。しかし、検査に長時間かかることや、大掛かりな装置が必要である。渦電流探傷法を適用することにより、高速で簡便に検査できるため検査効率の向上が期待できる。今回は、異なる積層方法の CFRP のきずをプラスプローブによる検出と評価の結果について報告する。

2. プラスプローブの探傷原理

CFRP は導電性をもつため、電磁誘導現象を利用する渦電流探傷法が適用できる。円形横置き励磁コイルと矩形縦置き検出コイルから構成される Θ プローブによれば、織物 CFRP に対しては S/N 高くきず検出できることを確認している。しかし、一方向 CFRP に対しては、S/N が低い問題がある。そこで、プラスプローブを提案する。プラスプローブの構造図を図 1 に示す。このプローブは縦置き矩形励磁コイルと 2 つの縦置き検出コイルから構成される。

図 2 にプラスプローブの探傷原理を示す。励磁コイルは巻線方向に 2 つの半円状の渦電流を誘導し、検出コイルは渦電流によって発生する磁束の変化を信号として検出する。試験体にきずがない場合、電磁誘導により励磁コイルの巻線と 2 つの半円状に渦電流が誘導され、検出コイルの巻線を鎖交する磁束は原理的にはなく起電力は誘起されないため、信号は検出されない。きずがある場合、渦電流はこれを避けるように誘導され、渦電流による磁束が検出コイルを鎖交し、起電力を誘起し信号を得る。

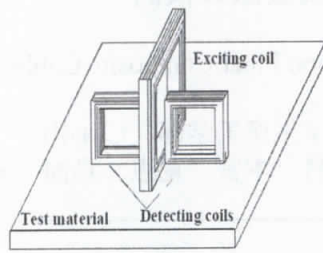
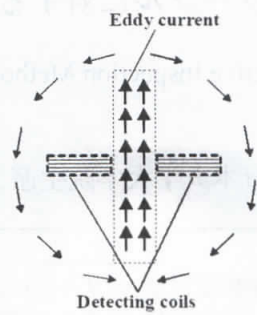
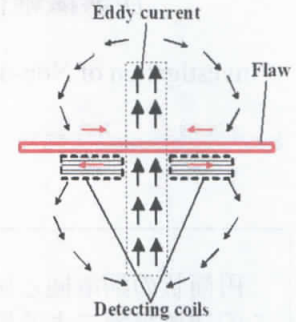


図1 プラスプローブの構造図



(a)きずがある場合



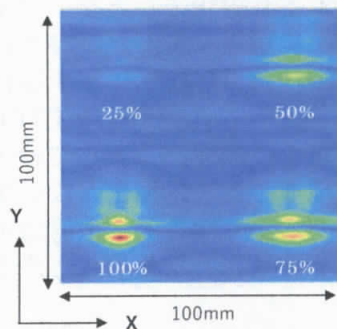
(b)きずがない場合

3. 実験方法

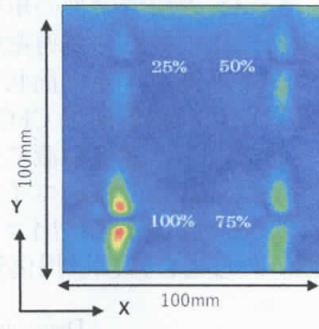
作成したプラスプローブの矩形縦置き励磁コイルの寸法は巻線の長さとしを 19mm とし、巻線断面積を $2 \times 2\text{mm}^2$ とした。2つの矩形縦置き検出コイルの寸法は長さを 7mm で高さを 9mm とし巻線断面積を $1 \times 1\text{mm}^2$ とした。CFRP 試験体は、一方繊維のシートを 90° 毎交互に積層させた一方向材を使用した。試験体の寸法は、 $160 \times 160\text{mm}^2$ の正方形で板厚は 3mm である。きずは円形で直径 7mm 、板厚に対して深さ 100% 、 75% 、 50% 、 25% の4つの円柱穴を施しきずとした。また、試験周波数は 2MHz とし、印加電圧は 7.5V として、プローブを試験体の中心から XY 軸方向共に $\pm 50\text{mm}$ の範囲を 0.5mm 間隔で二次元走査させた。

4. 実験結果

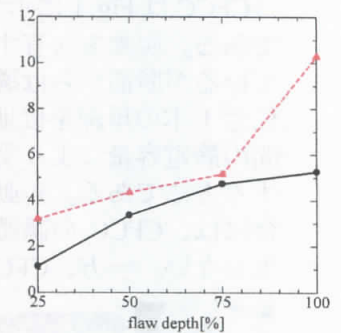
図3(a)と(b)は、 Θ プローブとプラスプローブのきず信号のカラー画像である。 Θ プローブはきずの検出が可能であるが雑音が多い。プラスプローブはきずの検出が可能で、雑音が少ない。図4にきずの深さに対する S/N を示す。どちらにおいても、きずが深くなるほど S/N は大きくなり、プラスプローブは Θ プローブよりも S/N は大きいことがわかる。



(a) Θ プローブ



(b)プラスプローブ



5. まとめ

CFRP に対してプラスプローブを用いた渦電流探傷法によるきず検出と評価について検討した。実験の結果、 Θ プローブに比べてプラスプローブのほうが繊維方向の雑音は小さくなった。また、 S/N もプラスプローブの方が大きいことが分かった。今後、試験周波数を変えた場合や、CFRP に実損傷を模した衝撃きずを施した場合について検討していく。

炭素繊維複合ケーブルに対する非破壊検査法の検討

Investigation of Non-destructive Inspection Method for Carbon Fiber Composite Cable

日本大学生産工学部 ○小山 潔
日本大学大学院生産工学研究科 本宮 寛憲、鳥海 純一

概 要

円筒状の銅電極と炭素繊維複合ケーブル間の静電容量により交流電流を誘導し、この誘導電流による磁束を差動検出コイルで検出する手法を提案する。本手法による炭素繊維複合ケーブルの損傷の検出実験の結果について報告する。

1. 緒 言

炭素繊維複合ケーブル (Carbon Fiber Composite Cable : CFCC) は、比強度や比剛性・耐食性・軽量・低線膨張などの優れた特長から、腐食環境下における構造物補強材や橋梁、コンクリート構造物への適用拡大がされている。その一方で、橋梁などの鋼ワイヤーケーブルに対する健全性診断である非破壊検査法は開発適用されているが、CFCC に対する適切な非破壊検査法については筆者らが知る限りでは提案されていないようである。

そこで、筆者らは電磁誘導を利用した渦電流探傷法の適用や単線間の静電容量により交流電流を誘導し差動検出コイルで検出する手法 (交流電圧印加法と称した) の適用など種々試み前報告した¹⁾。前報告した交流電圧印加法においては、CFCC の単線間の静電容量により交流電流を誘導させるために CFCC の各単線に電極を設置する必要があり、施工等に際しては煩雑となることが予想される。そこで、CFCC の 1 本の単線のみを接地電極とし円筒状の銅電極を CFCC に外装し、この銅電極と CFCC 間の静電容量により交流電流を誘導し、この誘導電流による磁束の変化を差動検出コイルで検出する方法 (以降、円筒状電極誘導法と称す) を提案する。今回は、提案する円筒状電極誘導法の基礎的な検討段階として、原理の検証実験と人工的に作製した CFCC の損傷の検出実験の結果について報告する。

2. 静電容量を利用した損傷検出法 (円筒状電極誘導法)

CFCC は Fig. 1 に示す様に直径 5mm の炭素繊維の単線を数本寄り線状にしたケーブルである。炭素を含有するので金属に比べて低い導電性を有し、単線の表面は絶縁されているが断面からは導通可能である。提案する円筒状電極誘導法は、Fig. 2 に示す様に任意 1 本の単線を接地電極とし円筒状の銅電極を CFCC に外装し、この銅電極と CFCC 間の静電容量により交流電流を誘導させ、誘導電流による磁束を差動検出コイルで検出する方法である。差動検出コイルは、2 つの貫通コイルから構成される。損傷がない場合には、CFCC の誘導電流が一樣であれば差動検出コイルであるから原理的に信号は発生しない。一方、CFCC に損傷がある場合には、損傷近傍での誘導電流の大きさに差異



Fig.1 炭素繊維複合ケーブル

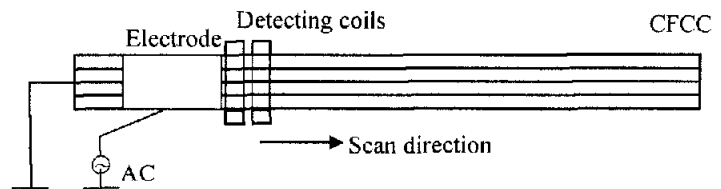


Fig.2 円筒状電極誘導法による CFCC 損傷検出

が生じ、損傷部位では2つのコイルの起電力に差が生じ信号を発生する。

3. 実験方法

厚さ0.2mmの銅板を外径13mmの円筒状に加工し電極とした。導電極の長さは12.5~100mmと種々用意した。差動検出コイルの寸法は、内径13mm巻線断面積 $3 \times 3 \text{ mm}^2$ 間隔1mmであり、コイル巻数500回である。試験体には東京製綱(株)社製の径12.5mmのCFCC(1x7 12.5φ)を用いた。

初めに、提案する円筒状電極誘導法の原理の検証実験として、試験周波数(1~5MHz)や円筒状銅電極の長さ(12.5, 25, 50, 100mm)が異なる場合の電極側から見たCFCCのインピーダンス変化を観測した。次に、人工的に作製した損傷(CFCC外側6本中1本を破断)の検出実験を行った。試験周波数2MHz, 交流電圧7Vとし、差動検出コイル内をCFCCを通過させて信号を得た。

4. 実験結果

Fig. 3に円筒状銅電極の長さ50mmで試験周波数に対するCFCCのインピーダンス変化を示す。Fig. 4に試験周波数2MHzで円筒状銅電極の長さに対するCFCCのインピーダンス変化を示す。試験周波数及び円筒状銅電極の長さに対して反比例的に減少した。電極側から見たCFCCのインピーダンスを $Z = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}$ と等価的に置くと、円筒状銅電極が短ければ銅電極とCFCC間の静電容量が小さくなるので銅電極の長さに反比例すること、試験周波数に対して反比例することの実験結果を裏付けている。Fig. 5に差動検出コイルの位置に対する検出信号を示す。CFCCの損傷(破断)を明瞭に検出できていることがわかる。

5. 結言

炭素繊維複合ケーブル(CFCC)の損傷検出法に関する検討を行った。円筒状の銅電極とCFCC間の静電容量により電流を誘導し誘導電流による磁束を貫通型の差動検出コイルで検出する円筒状電極誘導法を提案した。電極側から見たCFCCのインピーダンスが試験周波数や円筒状銅電極の長さに反比例して減少することから原理の妥当性を確認した。供試験体に人工的に作製した損傷(破断)を本手法により明瞭に検出できることを確認した。今後、更に検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 小山潔, 星川洋: 炭素繊維複合ケーブルの損傷検出に関する基礎的検討, JSNDI 安全・安心な社会を貴族先進材料・非破壊計測技術シンポジウム論文集, pp.41-42 (2012)

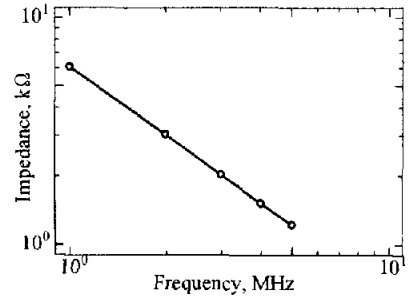


Fig.3 周波数に対するインピーダンス変化

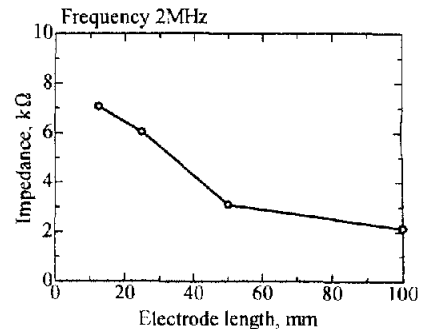
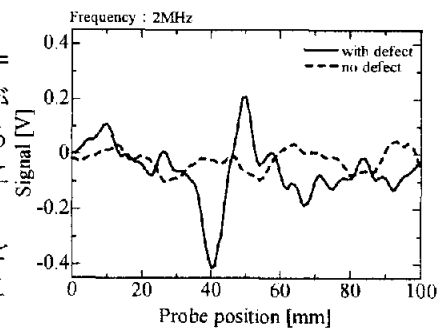
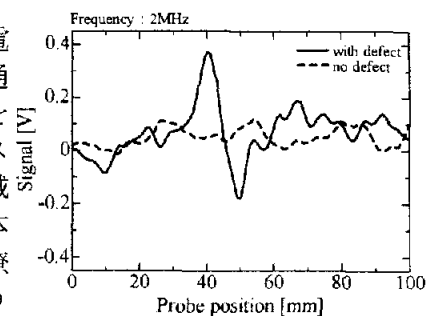


Fig.4 電極長さに対するインピーダンス変化



(a) In-phase component

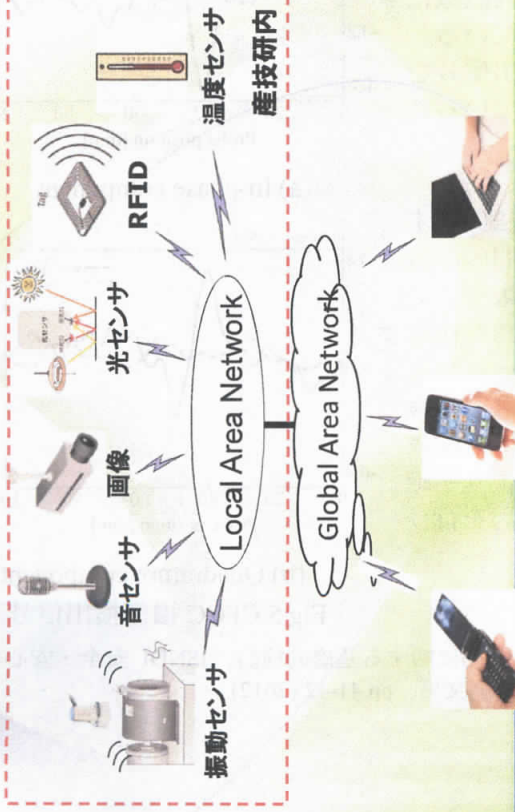


(b) Quadrature component

Fig.5 CFCC 損傷検出信号

実証実験のイメージ

※ 試験機器等に、様々なセンサを取付け ⇒ スマート化の検証



加速度センサー内蔵無線タグを用いた実験



加速度センサー内蔵無線タグ

無線通信用USBスティック
(2,760円)

Y方向

X方向

Z方向



CPU	TWE-LITE-2525A (モノワイヤレス(株))
通信	32ビットRISCマイコン(32MHz) 2.4GHz帯無線 (IEEE802.15.4)
通信距離	50m以上(障害物無し)
センサ	加速度センサ(3軸方向)
サイズ	25mm×25mm
重量	6.5グラム(電池含む)
価格	3,000円

千葉県非破壊検査研究会 研究発表会

「身の丈IoT」活用へ向けた

実証事例

～千葉県産業支援技術研究所における

IoT関連技術の取り組み～

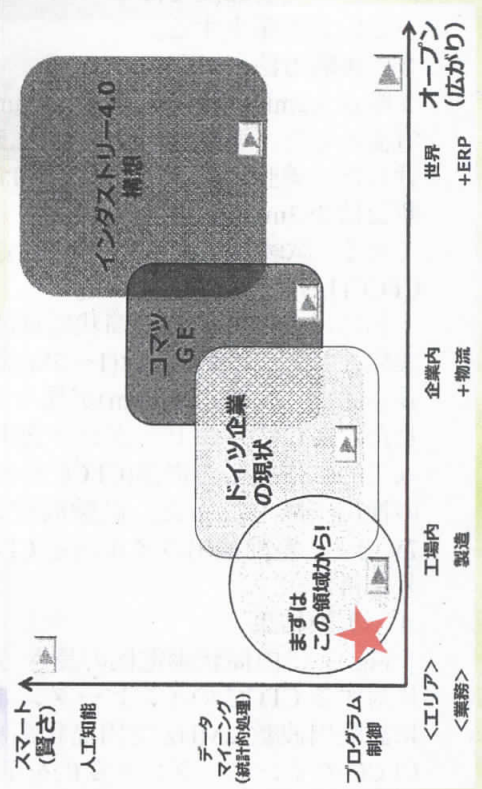


平成30年2月6日



千葉県産業支援技術研究所 IoTチーム
阿久津、城之内、田中、石川、大谷

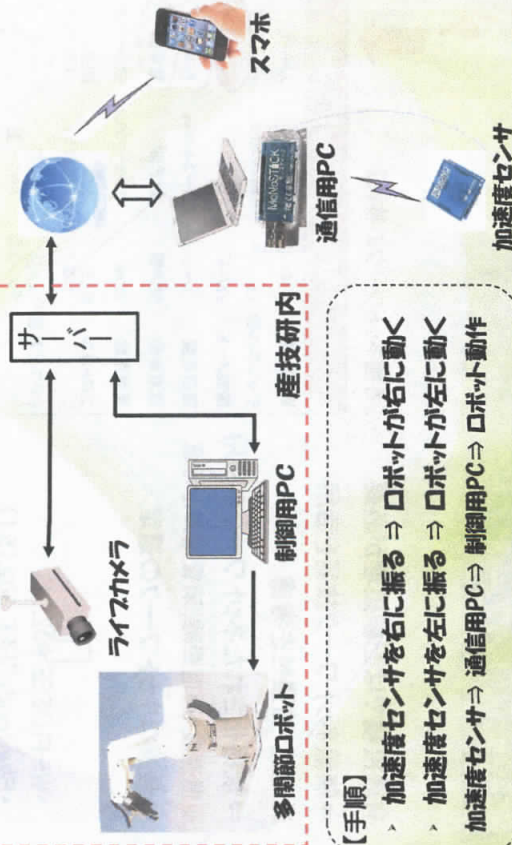
IoTの俯瞰



引用元: 埼玉県産業技術総合研究センター

加速度センサの活用事例2 ～多関節型ロボット

● 昭和のロボットをスマート化



【手順】

- 加速度センサを右に振る ⇒ ロボットが右に動く
- 加速度センサを左に振る ⇒ ロボットが左に動く
- 加速度センサ ⇒ 通信用PC ⇒ 制御用PC ⇒ ロボット動作

温度センサの活用事例3 ～Google Chart+の活用

● Google Chart+を活用したWeb配信

温度センサ

ラズパイ

データベース

産技研内

スマートフォン確認

温度センサ ADT7410
温度 -40～+105℃、±0.5℃
基板サイズ 15×11mm
価格 500円

加速度センサの活用事例1 ～疲労試験機～

● 疲労試験機の運転管理



スマートフォンに運転管理

- 加速度センサを用いた運転管理
- 試料が破断するとメールで通知

Raspberry Pi 3 model B

- 35ドルのPC
- 名刺サイズ
- 5V2.5A電源
- 記憶装置はマイクロSDカード
- USBポート×4、LANポート×1、HDMI×1
- WiFi、Bluetooth

※ 電源、キーボード、マウス、メモリ、LCD 別途必要

現在取組中 ~次なる課題への挑戦~

データをどう活用するか...

人工知能? デイブラーニング?
「Cha ner」 「Tensorf bw」等の
フレームワークを活用して検証開始



環境配慮型IoTの構築



計測したい対象によっては、屋外で電源のない場所での計測も想定させる。

- ・ 屋外で計測できる外装
百葉箱
- ・ 計測・通信に必要な電源
バッテリー
- ・ 無線インターネーネット接続
ソーラーパネル



無線ネットワークの活用

有線接続では配線処理が必要

⇒ 無線ネットワーク技術を活用

汎用性・拡張性を考慮

⇒ 規格化されたネットワークを利用

通信速度、通信距離、消費電力を考慮

⇒ 最適なネットワークの選定

- Wi-Fi (IEEE 802.11)
- Bluetooth (IEEE 802.15.1)
- ZigBee (IEEE 802.15.4)
- RFID

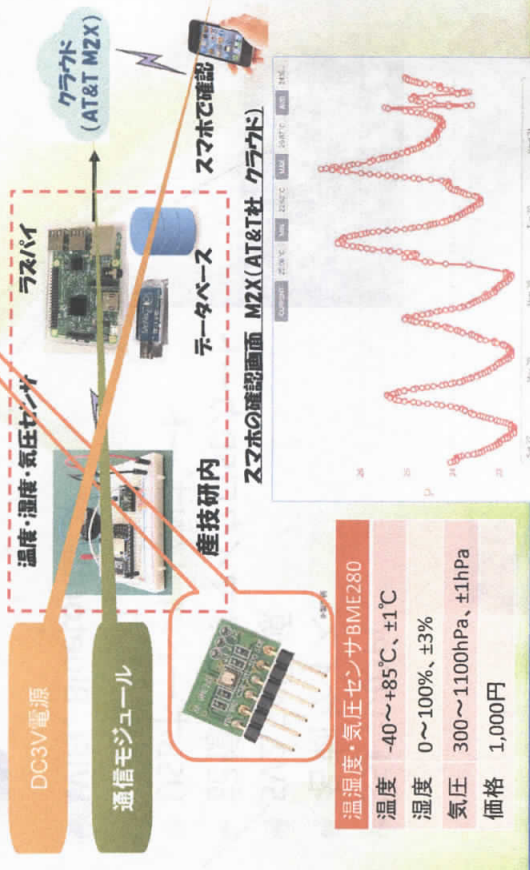
【各種ネットワークの特徴】

	Wi-fi※	Bluetooth	ZigBee
周波数帯	2.4GHz, 5GHz	2.4GHz	2.4GHz
チャンネル数	13	20	16
接続ノード	32ノード	7ノード	65,536ノード
通信速度	11~54Mbps	1~24Mbps	250kbps
電池寿命	数時間	数日間	数年間
通信距離	100m	10m~100m	数m~3km
プロトコル	IEEE 802.11x	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
ネットワーク形態	ProP型 メッシュ型	ProP型 メッシュ型	ProP型 ツリー型 スター型 メッシュ型

※ W所については、いくつかの規格のうちの一つで規格によって大きく仕様が異なる。

温度センサの活用事例4 ~クラウドの活用~

クラウドサービスを活用したデータ共有



温度・気圧センサ BME280

温度	-40~+85°C, ±1°C
湿度	0~100%, ±3%
気圧	300~1100hPa, ±1hPa
価格	1,000円

ウェブカメラの活用事例 ~センサとして活用~



ヨドバシカメラで
1個1,500円

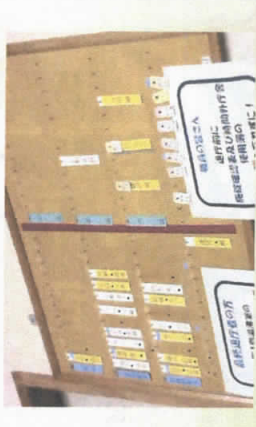
1. ウェブカメラを用いた施設管理



2. 塩水噴霧試験の運転管理
槽内に試料を入れ、塩水を霧状に充填させ腐食しないか試験。一か月連続で行うことも。
・ 装置が止まるとやり直し
・ 特に土日が気になる



3. 画像処理技術を用いた在庫確認

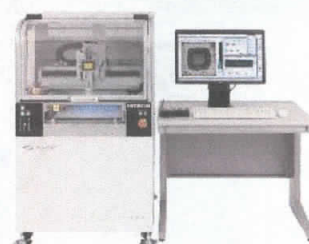


超音波映像装置の適用事例について (分解能・検出能向上)

2018年02月06日

株式会社 日立パワーソリューションズ
超音波装置システム部

富田 隆



Contents

1. SAT (※) 事業紹介
2. 映像事例のご紹介
3. 超音波プローブによる分解能・検出能向上の取り組み
4. 画像技術による分解能・検出能向上の取り組み
5. 新機能のご紹介

※ SAT : **S**canning **A**coustic **T**omograph

1-1 日立パワーソリューションズのご紹介

HITACHI
Inspire the Next



エンジニアリングから保守サービスまでの
ワンストップサービス



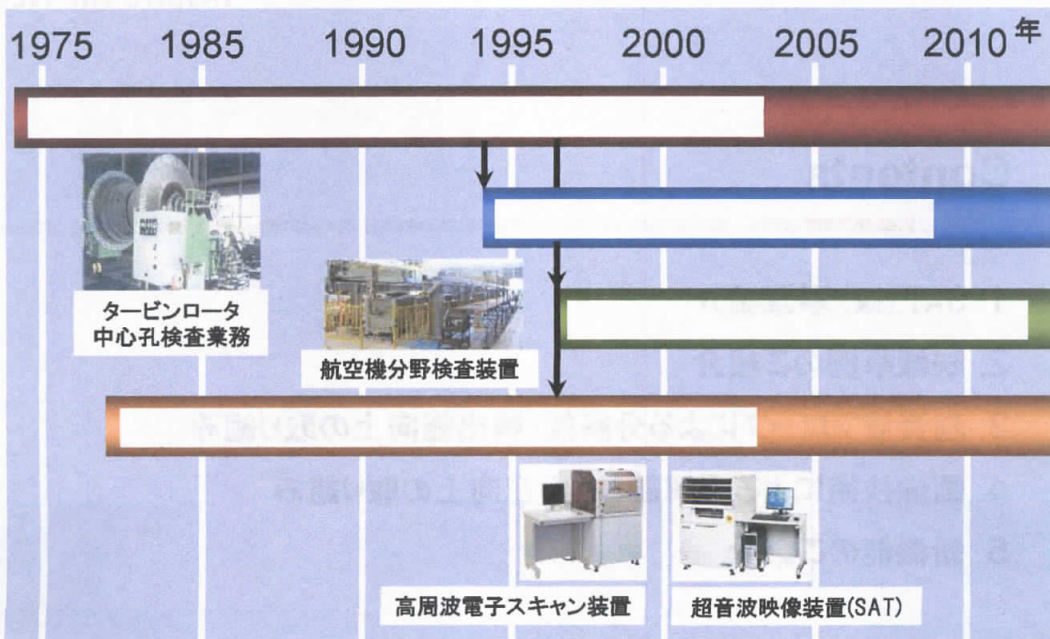
Value Creator — Hitachi Power Solutions

© Hitachi Power Solutions Co., Ltd. 2017. All rights reserved.

2

1-2 日立パワーソリューションズのSAT事業沿革

HITACHI
Inspire the Next



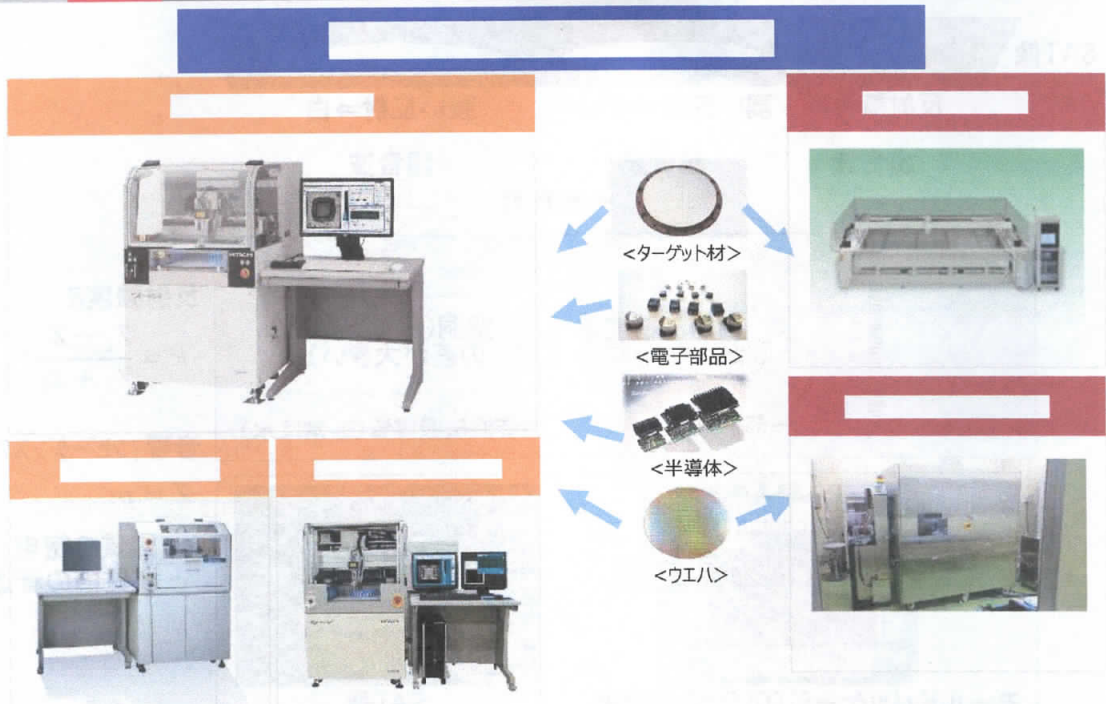
Value Creator — Hitachi Power Solutions

© Hitachi Power Solutions Co., Ltd. 2017. All rights reserved.

3

1-3 SATのラインナップ

HITACHI
Inspire the Next



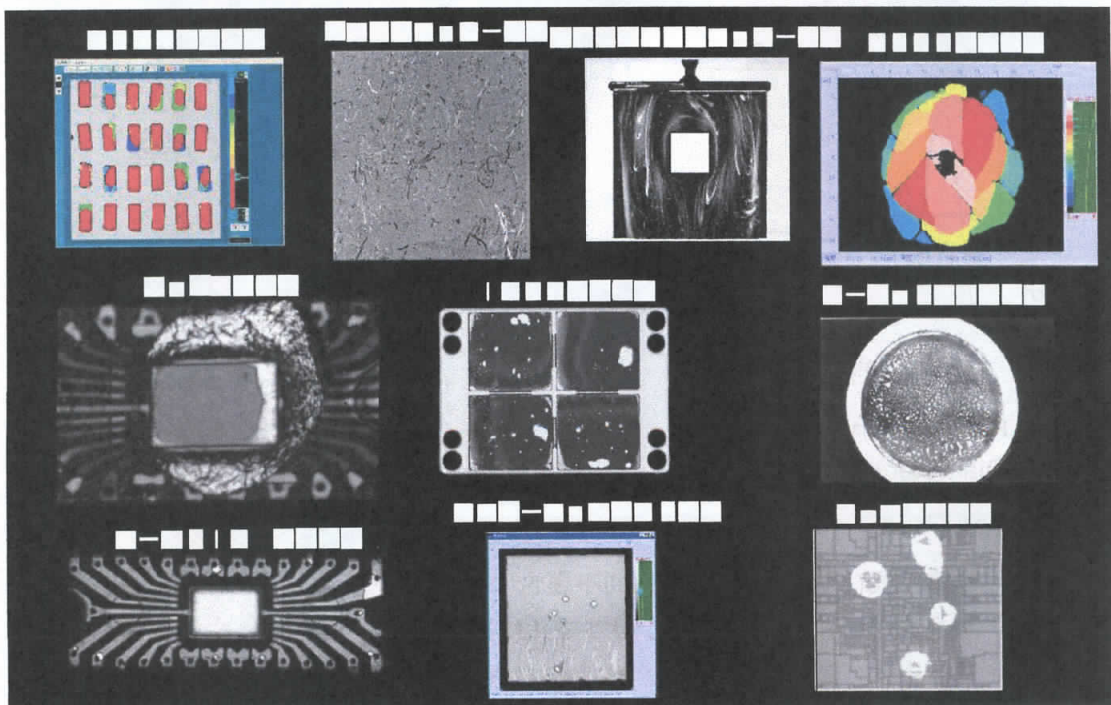
Value Creator - Hitachi Power Solutions

© Hitachi Power Solutions Co., Ltd. 2017. All rights reserved.

4

2 映像事例【アプリケーション別】

HITACHI
Inspire the Next

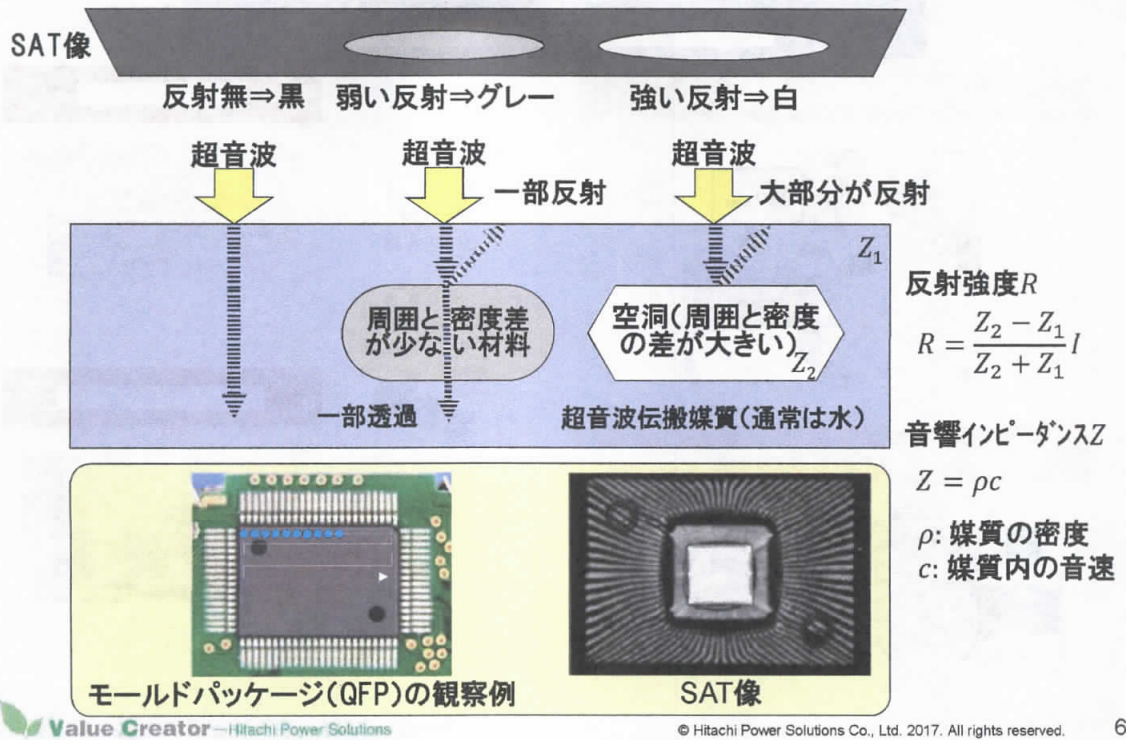


Value Creator - Hitachi Engineering & Services

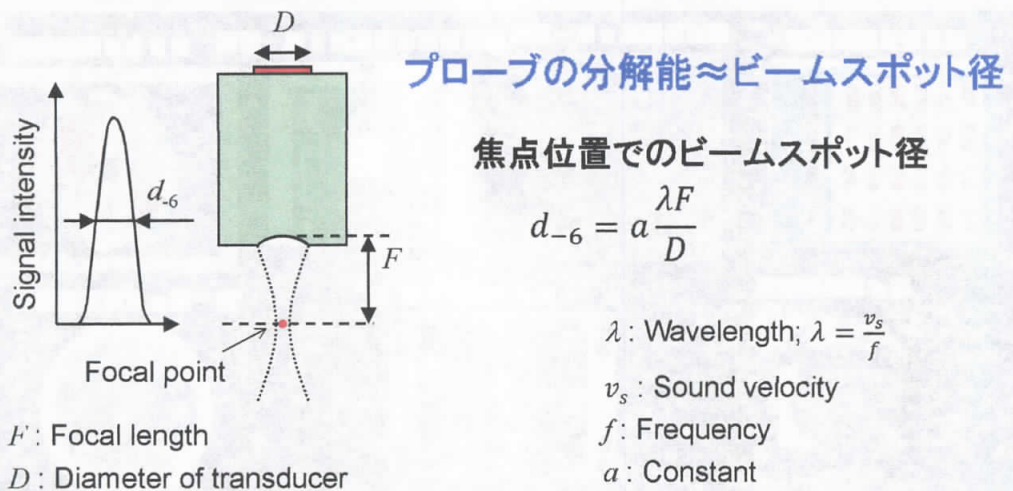
© Hitachi Power Solutions Co., Ltd. 2017. All rights reserved.

5

3-1 超音波検査の原理 (反射法)

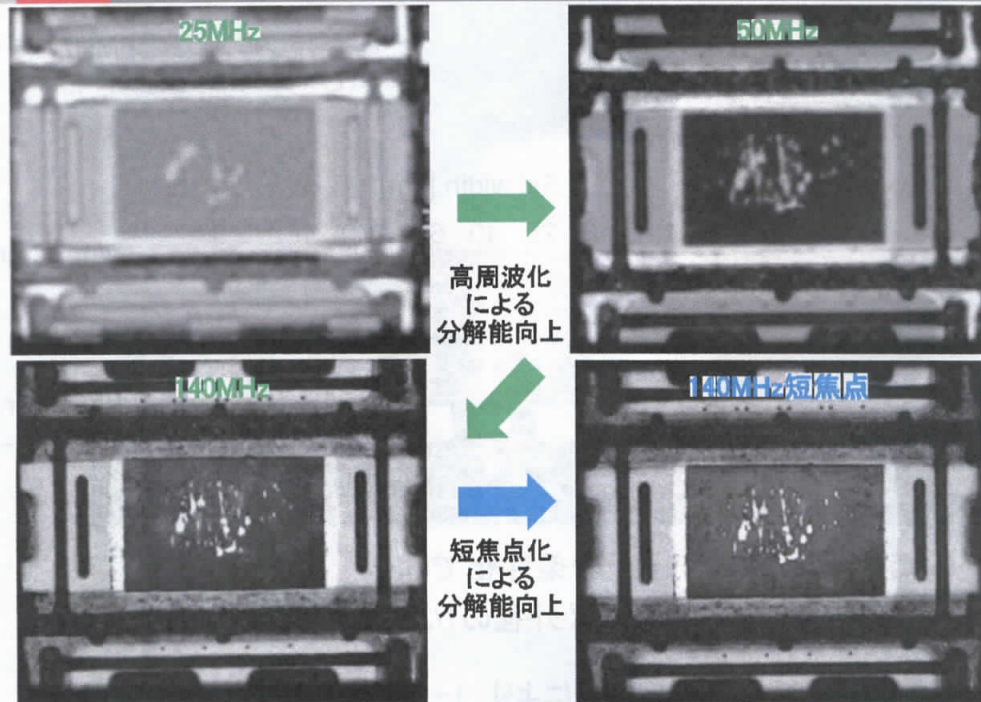


3-2 超音波プローブの分解能

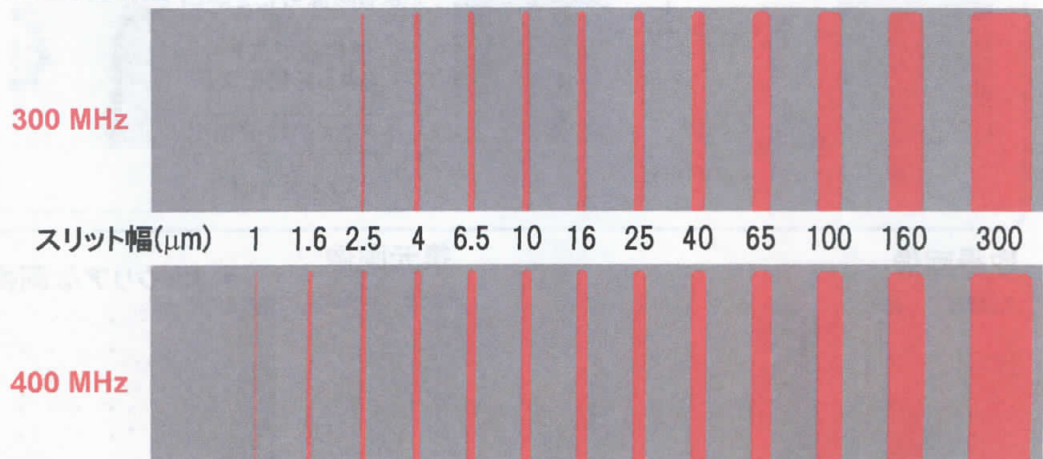
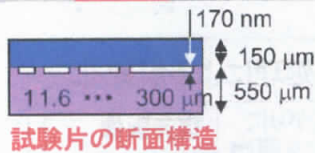


振動子径(D):	大	電氣的不整合による感度低下
焦点距離(F):	短	厚いサンプルに適用不可
周波数(f):	高	水、サンプル中での減衰大 → 最も汎用性あり

3-3 超音波プローブの高周波化・短焦点化の効果



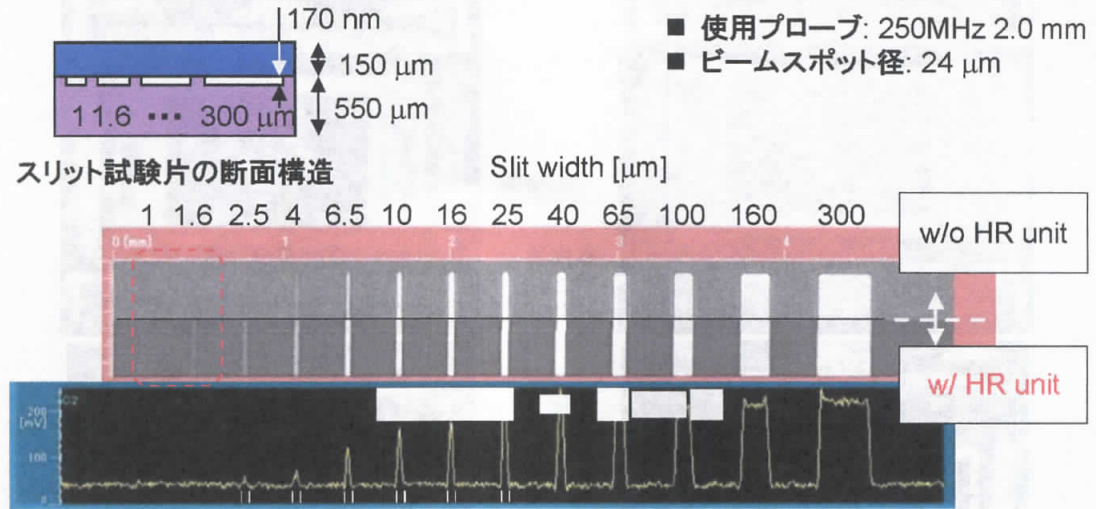
3-4 400MHz超音波プローブによる測定例



スリット試験片観察結果[二値化像] (焦点距離2.0mm)

スリット状ボイドの検出限界: 2.5μm → 1μm

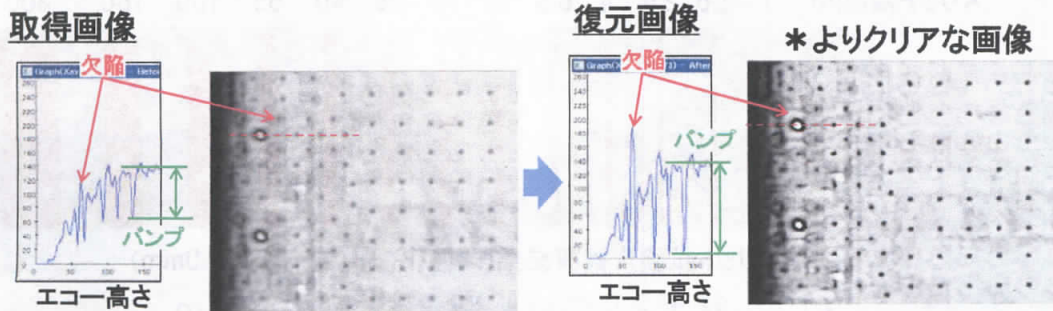
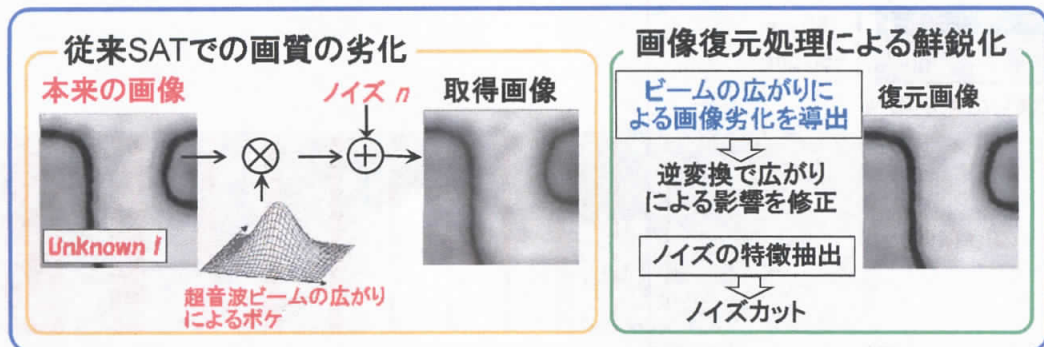
3-5 高分解能特殊ユニット(HR)による検出能向上



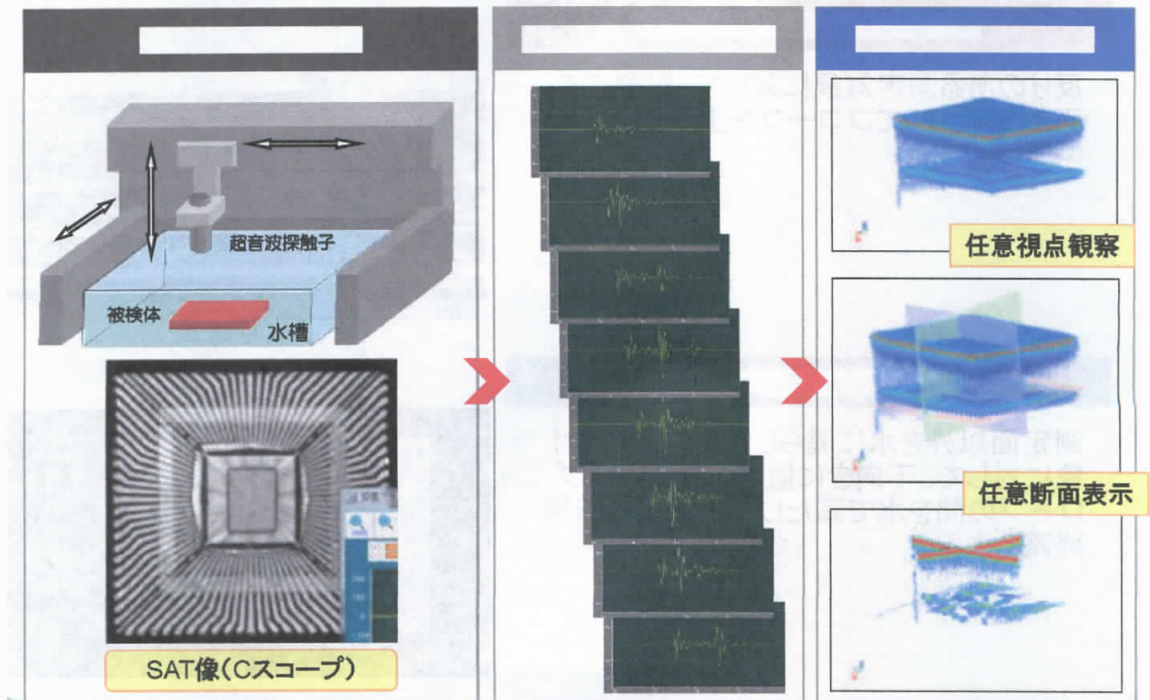
スリット幅くビームスポット径の条件化では、

- ・ 輝度は低下するが、ビームスポット径の1/2~1/4のスリットは画像化可能
- ・ スリット幅は変化せず
- ・ HRユニット使用によるS/N向上により、1~1.6μmのスリットも画像化可能

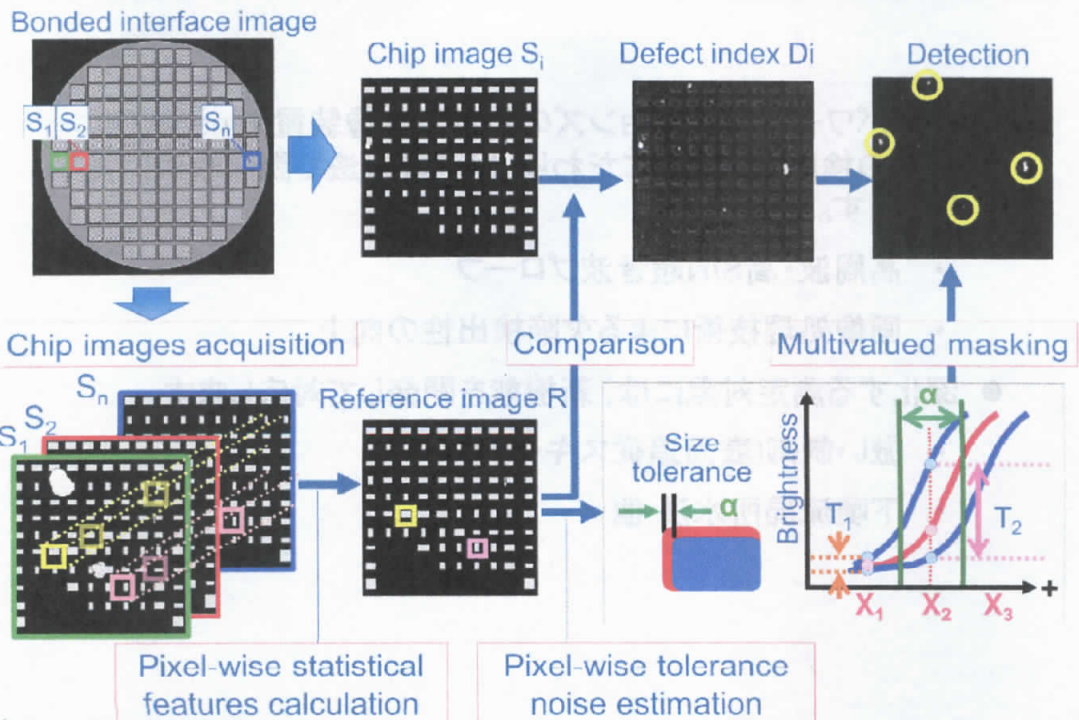
4-1 画像鮮鋭化技術



4-2 3D-Viewer



4-3 Golden Shot/Auto Defect Detect



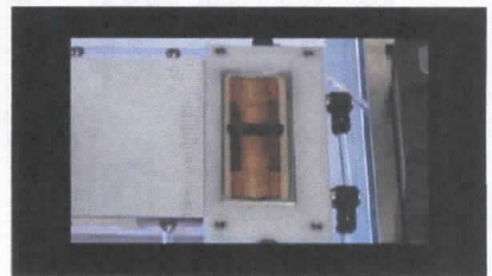
5 新機能のご紹介

HITACHI
Inspire the Next

反りのある測定対象に対して、試料の表面形状に沿ってプローブを走査する



測定面以外を水に濡らしたくない測定対象に対して、下向きに置いた測定面とプローブの間を水で満たして超音波の伝播経路とする



 Value Creator — Hitachi Power Solutions

© Hitachi Power Solutions Co., Ltd. 2017. All rights reserved. 14

6 まとめ

HITACHI
Inspire the Next

- 日立パワーソリューションズの超音波映像装置(FineSAT)は欠陥の検出性向上にこだわり、以下の方法で課題解決に貢献します。
 - ・ 高周波・高S/N超音波プローブ
 - ・ 画像処理技術による欠陥検出性の向上
- 深化する測定対象には、新機能を開発して対応します。
 - ・ 倣い制御(表面追従スキャン)
 - ・ 下噴流局所水浸 他

 Value Creator — Hitachi Power Solutions

© Hitachi Power Solutions Co., Ltd. 2017. All rights reserved. 15

ヴェトナムの復興と最近の工業情勢

(ヴェトナムにおける非破壊検査の現状)

山崎 利一

元 JFE エンジニアリング(株)

1. はじめに

2013年から2015年にわたる約2年間、首都ハノイの国際空港（ノイバイ国際空港）第2ターミナルの建設及び2016年から2017年にわたる約2年間、ハイフオンのタンク修理プロジェクトに QAQC マネージャーとして参画した。主な業務は品質保証業務（ISO 9001 関連）、環境マネジメント業務（ISO 14001 関連）、OHSAS 業務（18001 関連）および非破壊検査を含む、日常の品質検査業務である。ここでは本プロジェクトを通じて体験したヴェトナム社会主義共和国の工業情勢の現状を述べてみたい。

2. ヴェトナム社会主義共和国

国土は南北に細長く、北は中華人民共和国、西はラオス、南西はカンボジアと国境を接する。東は南シナ海に面し、フィリピンと相対する。首都はハノイ。ASEAN 加盟国、通貨はドン、人口 9,250 万人（2014 年末）となっている。

ベトナム戦争

1962 年 2 月、アメリカ合衆国はサイゴンに援助軍司令部を作り、軍事介入によるベトナム戦争が始まり、1975 年 4 月 30 日、北ベトナムと解放戦線が春の大攻勢を行うと、南ベトナムは全面降伏する。サイゴン（現ホーチミン）は陥落し、ベトナム共和国は崩壊に至る。南ベトナム共和国の名の下に北ベトナムが実権を掌握し、ベトナム戦争は終結した。Photo-1 参照

戦後の工業情勢

ヴェトナムは近代的な工業国になることを目標に掲げている。現在、ハノイ、ホーチミン、等ヴェトナム国内に多くの工業団地を設立し、日本を含む多くの海外からの企業誘致を進め、技術導入、人材育成に努めている。しかしながら多くの人材をヴェトナム戦争にて失い、平均年齢 30.4 歳であり、最も重要な人材育成が思うように進んでいない状況である。ちなみに日本は ODA にて最大の援助を行っており、2015 年度では円借款、約 1800 億円、無償資金協力、38 億円、技術協力、100 億円であり、次いで韓国、フランスとなっている。一例として、ノイバイ国際空港からハノイ市内までの 6 車線の幹線道路は ODA により 2015 年に完成し、ハイフオン港ではコンテナヤードの整備が急

ピッチで進められている現状である。このような背景下、各種の問題を抱えながらも年率6から7%の経済成長率で大きく発展している国である。

3. プロジェクト概要

ノイバイ国際空港は第1ターミナルが国内線、国際線共用となっており、非常に手狭で早急な拡張が要求されていた。今回のプロジェクトは国際線専用の第2ターミナルの建設である。JFEの所掌範囲はジェット燃料供給設備の建設である。本供給設備の主なものはタンク群（4000KL x 4基）、燃料輸送用パイプライン、ジェット燃料受け入れ設備等である。

4. 適用規格

API: 1104 パイプライン敷設

API: 650 タンク建設

ISO: 9001 品質マネジメントシステム

ISO: 14001 環境マネジメントシステム

OHSAS: 18001 労働安全衛生マネジメントシステム

5. 非破壊検査の現状

ヴェトナム国における非破壊検査は日本のような全国を統括して管理する非破壊検査協会のような組織は無く、北部のハノイではNDEセンターが教育、訓練、認定試験を実施している。当NDEセンターはヴェトナム国のVAEI（原子力エネルギー機構）の下部組織として原子力分野のNDE関連を統括している機関である。当プロジェクトではNDEセンターでの認定技術者を雇用した。

NDEセンターの概要を以下に示す。

非破壊検査技術者の現状

理事；8名

技術アドバイザー（大学教授等）；5名

NDEスタッフ；50名

NDE有資格者；RT Level3 9名, UT Level3 7名, MT Level3 2名,

PT Level3 3名,

テクニシャン；40名

6. 今後の日本とヴェトナムの関係

ヴェトナムとしては今後急速に各種のインフラ整備に力を入れなければならない状況にあるが、予算、人材、技術などの多くの面で諸外国からの援助を必要としている。

このような状況下、多くの日本企業がヴェトナムに進出しており、今後も更なる日本企業の進出が期待されている。当然、これらに伴い技術移転、人的交流なども一層進められる背景にある。既に日本とベトナム国の国家間では多くの分野でパイプが繋がっており各種のプロジェクトが稼動している。工業分野では経産省傘下にて各種のパイプが繋がっており、多くの機関が人的交流、技術移転、人材育成などに力を入れており今後も更なる活動が期待される。

非破壊検査技術に関する技術移転、人材育成

ヴェトナム国におけるインフラ整備が急ピッチで進められる状況下、多くの技術的問題が発生している。当該 NDE センターとしても国内に今後多くの原子力発電所が計画されており、建設時における溶接技術、品質保証の問題、更にはメンテナンス手法を中心とした維持管理全般の問題を抱えている。

品質保証の活動として非常に重要な非破壊検査技術に特化しても技術者数の不足、技術レベルの問題、プロジェクト管理の問題などの多くの問題を抱えている。

既にこれらの問題解決策として諸外国からの各種支援の計画を持っているようであるが遅々として進まない現状である。NDE センターとしては日本の技術力はよく理解されており、日本非破壊検査協会との連携も極力進めて行きたい意向であり、日本側の対応が期待される。

Photo-1 ヴェトナム歴史博物館



松嶋正道氏を偲ぶ

元 CNDI 事務局長 立川克美



千葉県非破壊検査研究会役員を長年に亘り務めて頂いた松嶋正道氏は 2017 年 10 月 24 日ご逝去されました。

松嶋氏が千葉県非破壊検査研究会に初めて参加されたのは、1990 年（平成元年）の研究発表会でした。当時の研究会の参加資格は千葉県に何らかの関係のある企業または個人の会員と決められておりましたが、県外からの参加希望者も多く、会の設立の趣旨に賛同される方も受入れておりました。松嶋氏は、産報出版に掲載された CNDI 研究発表議題募集の記事をお読みになって、応募されたと申しておりました。

これを機に、当研究会に加入頂きました。所属が当時の科学技術庁航空宇宙技術研究所だったことも有り、即役員就任をお願いし、2016 年まで 26 年の永きに亘り、研究会にご尽力を賜りました。

私は松嶋氏の病気のことは全く存じ上げておりませんでした。今になって思えば、1917 年 2 月の第 32 回研究発表会や 7 月末の総会における懇親会に途中参加されたときも、苦しい病状を押してこの研究会に参加くださいましたことに、松嶋氏の誠実さに心を打たれ、深く感謝申し上げる次第です。

当研究会史料によりますと、松嶋氏の研究會におけるご発表は表 1 に示すとおりです。更に、2015 年には「複合材料の特質と非破壊評価について」の特別講演を頂きました。

2011 年の千葉県非破壊検査研究会 30 周年記念行事におきましては、“はやぶさ”の地球帰還で話題となった JAXA 川口純一郎教授の記念講演講師の招聘に際し、適切なご助言を頂いたところです。

表 1 松嶋正道氏の CNDI 研究発表

年度	場所	タイトル
平成元年	機械金属試験場	超音波探傷法の複合材料への応用
平成 5 年	高度技能開発センター	複合材の超音波探傷法について
平成 8 年	高度ポリテクセンター	先進複合材料の非破壊評価
平成 16 年	君津勤労者総合福祉センター	航空機の構造について
平成 18 年	大田区産業プラザ	空気式超音波探傷のCFRPへの応用（長瀬）
平成 19 年	JFEみやざき倶楽部	CFRPの超音波探傷評価
平成 20 年	幕張テクノガーデン	CFRP構造の非破壊検査法
平成 24 年	千葉県産業支援技術研究所	航空機におけるCFRP検査の現状

CNDI のみならず千葉県産業支援技術研究所に対する松嶋氏の特筆すべき業績は、複合材の研究部門の創設並びに複合材研究会の立ち上げにご尽力されたことです。

2001～2006 年私は産技研の素材開発室長を務めておりました。1990 年代から国内の金属加工メーカーの中国進出が顕著となり、千葉県内の業界においても同様な動きでした。そして、中国からは安価な金属加工製品が輸入され、これが品質的に種々の問題を引き起こし、当研究所に依頼試験や技術相談が頻繁に持ち込まれている状況でした。しかし、この稚拙な技術力も 10～20 年すれば日本は追い越されることは確実に、これをただこまね

いている訳には行きません。そこで、「素材開発室」として将来を展望し、複合材分野に新たな展開を切り開くことを考え、松嶋氏に相談しました。

当時、千葉県としては複合材分野の技術力は乏しく、設備も全くありませんでした。そこで、当時私と共に非破壊試験を担当していた長瀬尚樹研究員を週1回松嶋氏の研究所に通わせ、CFRPの基礎と各種評価方法を学ばせることにしました。このときも本来であれば有料規定のある研修生受け入れについて、松嶋氏の特段の御好意により無償（JAXAには内緒）でお世話になりました。この間、私も度々松嶋氏の研究所を訪問し、その都度千葉の地酒をお土産として持参しておりました。私は全くの下戸で、松嶋氏と飲む機会はありませんでしたが、お酒をこよなく愛しておられたのは、会員の皆様もご存じのとおりです。

私は、定年の1年前に県を早期退職しました。今となっては時効ですが、退職に際し、どうしても実現したいのが複合材部門の事務分掌化で、当時の木島所長に願い出ました。いろいろな経緯がありましたが、2005年末になって私の願いを全面的に受け入れてくれる展開になり、木島所長は未熟な技術を補うために複合材分野に明るい任期付き研究員の採用を本庁の主管課に求め、これが了解を得ました。

そこで、研究員採用の人選について松嶋氏にお願いしたところ、当時（社）日本複合材料学会の会長を務めておられた日本大学生産工学部の邊吾一教授を紹介して頂きました。松嶋氏と日大に伺い、邊教授の研究室から任期付き研究員として日大から研究者を派遣して頂くことになりました。しかし、年度末近くになって予定された方が諸事情から辞退されてしまいました。

その経緯を詳細に書くことはできませんが、その後は私と松嶋氏、邊教授の3者間の電話やメールによる打合せでドラマチックな展開の結果、京都から西川康博氏（現、東京都立産業技術研究センター多摩テクノプラザ勤務）を2年間受け入れることになりました。その後の千葉県複合材研究会の立ち上げを含め、松嶋氏には千葉県の非破壊検査、複合材の両研究会に多大な貢献を頂きました。

松嶋氏には個人的にもお世話になったことがあります。私も息子も飛行機大好き人間で、息子は空港または管制に関する職に夢見ていたようで、進路について松嶋氏に相談した経緯があります。それ以来、Boeingの新機種が登場すると写真やカレンダーを毎年頂いておりました。



図1 CFRPが適用されたB787

松嶋氏をご逝去された数日後、10月27日に知人から知らされました。しかし、ご葬儀はご家族で内輪に行くことのようにです。との情報のみでなすすべもなく、松嶋氏との出会い、CNDIの発表会、複合材部門の立ち上げ当時に思い起こし、昨年7月31日の総会後の懇親会での固い握手とそのときの会話に深い悲しみを覚えた次第です。

謹んでご冥福をお祈りいたします

特 別 講 演

レーダによる社会インフラ非破壊検査の最新動向
－ MPLA による探査事例のご紹介 －

三井造船(株) 機械・システム事業本部 社会インフラ統括部
電子・制御グループ 菅谷 篤

レーダによる社会インフラ非破壊検査の最新動向
 - MPLAによる探査事例のご紹介 -



2018年2月6日



1. 背景

- 1-1. 社会インフラの築年数と維持管理・更新費の推計
- 1-2. コンクリート構造物のメンテナンス
- 1-3. 非破壊検査技術の分類(コンクリート橋)



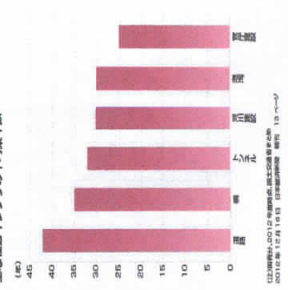
1-1. 社会インフラの築年数と維持管理・更新費の推計

さまざまな社会インフラ

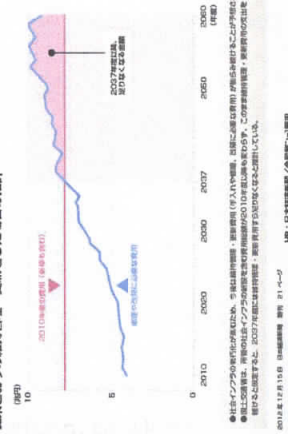
●主に産業用となるもの



主な社会インフラの平均築年数



従来どおりの維持管理・更新をした場合の推計



出典:国土交通省「国土交通省社会資本整備蓄積計画(2010-2050)」

出典:国土交通省「国土交通省社会資本整備蓄積計画(2010-2050)」

目次

1. 背景
2. MESレーダ技術の説明
3. MESレーダの機器紹介
4. 適用事例 その1 / MPLAレーダによる調査事例
5. 適用事例 その2 / その他レーダによる調査事例
6. まとめ



2-4. 3次元画像化レーダ (MPLA) の開発

開発コンセプト

調査結果が一般の土木技術者にも理解できる。

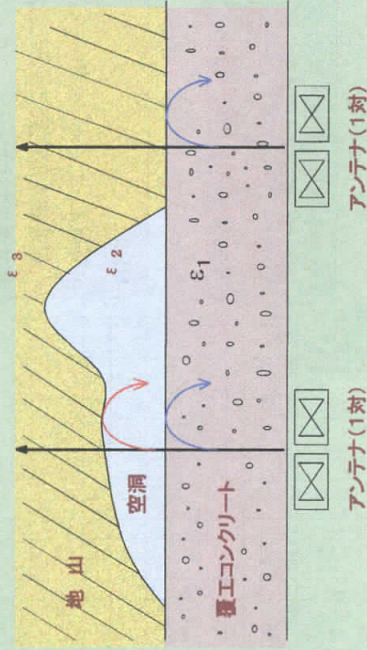
解析結果が3次元立体で表示でき、判読しやすく表示する。

分解能が優れ、コンクリート中の空洞、ジャンカ、クラック等の小さな欠陥や損傷を検知できる。

1回の調査で面的調査が可能で、効率よく調査できる。

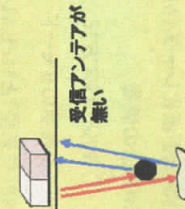
MPLA (Multi-Path Linear Array) レーダ

2-2. 地中レーダの調査原理



2-5. MPLAの特徴 ①マルチパス方式

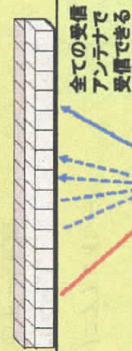
従来2素子型レーダ
(単一経路：シングルパス)



従来型では、送信アンテナと受信アンテナは1:1の関係。

物探裏の検知が難しい

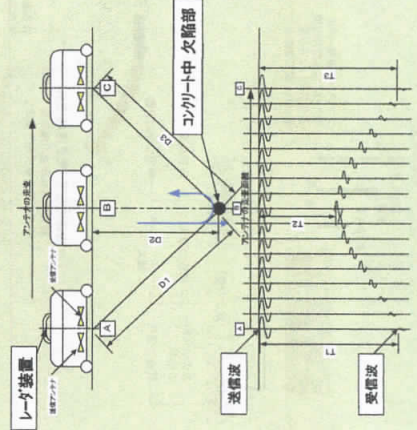
マルチパスアレイレーダ
(多経路：マルチパス)



あるエレメントから発信され媒体で反射した電波を、全ての受信アンテナ(複数の経路)で受信できる。送信アンテナと受信アンテナは1:nの関係。

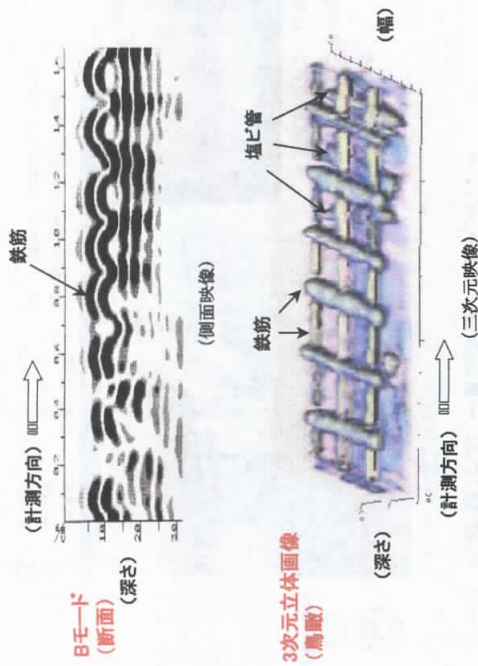
鉄筋など物探裏の反射が捉えられる

2-3. レーダ探査の原理

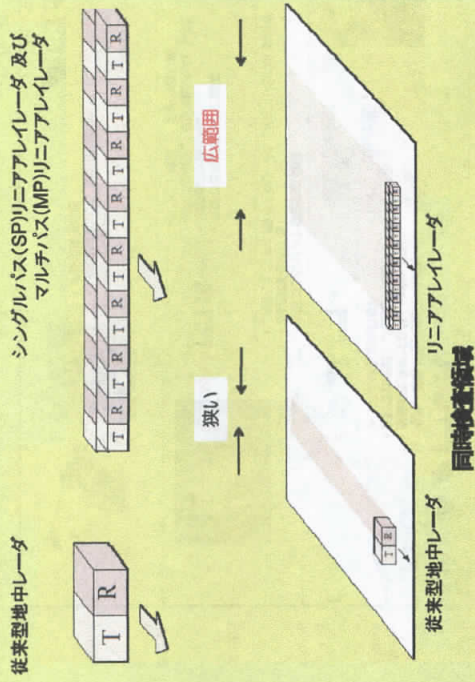


実際の映像(鉄筋)

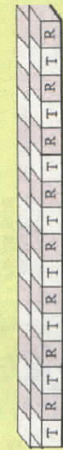
2-7. SP(従来型)とMPLAレーダのデータ比較



2-5. MPLAの特徴 ②リニアレーダ

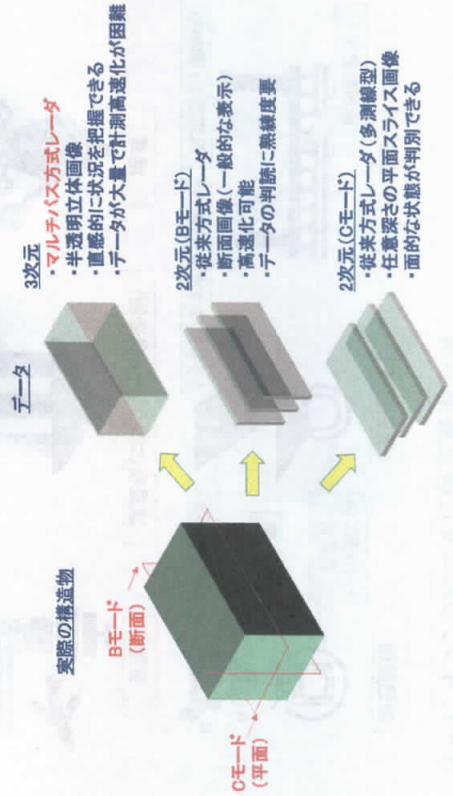


従来型地中レーダ
シングルバス(SP)リニアレーダ及び
マルチバス(MP)リニアレーダ



2-6. データ表示のBモード・Cモードとは

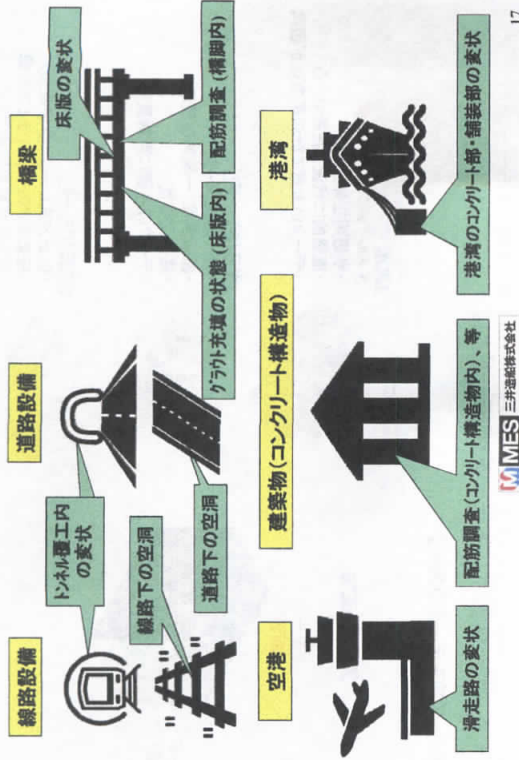
【レーダ探査データの表示】



3. MESレーダの機器紹介

- 3-1. インフラ別に見た検査要望箇所
- 3-2. MESレーダ ラインナップ(抜粋)
- 3-3. 機器紹介(仕様対象別)
 - ①・② - 鉄道(既設)トンネル・線路下 -
 - ③ - 鉄道(新設)・道路トンネル -
 - ④ - 道路・床版(橋梁)等(道路下空洞探査) -
 - ⑤ - 路面下空洞探査車(三道試験センター) -
 - ⑥・⑦ - コンクリート構造物全般 -

3-1. インフラ別に見た検査要望箇所



MES 三井造船株式会社

3-3. 機器紹介①・② - 鉄道(既設)トンネル・線路下 -

- トンネル掘工検査車「CLIC (クリック)」 (Concrete Lining Inspection Car)
- 線路下空洞探査「UTRAS (アトラス)」 (Under Track Survey system)



Photo: JR東日本ホームページより
JR東日本と共同開発
新幹線を対象とした掘工内部変状計測システム
掘工表面画像 (レーザー計測) 一括管理
JR東日本線車検
新幹線用 (保守用車タイプ) X3台
在来線用 (軌道車タイプ) X1台 (非公開)



JR東日本と共同開発
線路/ハラストのゆるみのみならず検査する装置
~1m, ~2mの2系車でデータ計測
JR東日本納入車検
既設車 (軌道車タイプ) X1台 (非公開)
ポータブル型 (手押しタイプ) X14台

MES 三井造船株式会社

3-3. 機器紹介③ - 鉄道(新設)・道路トンネル -

- トンネル掘工検査車



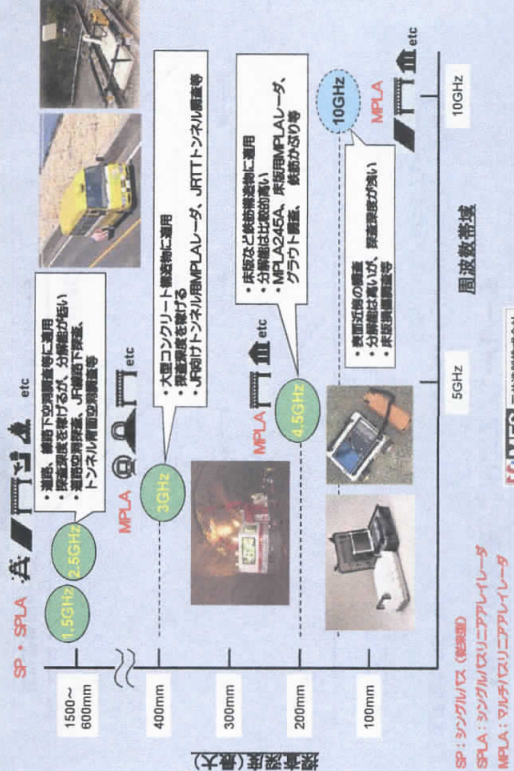
調査実績
掘工内部変状調査
・ 鉄道新設トンネル完成時
・ 国道新設トンネル完成時

MPLレーダ

項目	仕様	特徴
計画速度	3.5Km/h	<ul style="list-style-type: none"> 3次元映像化レーダ(MPLレーダ)搭載 3次元解析により異種の状態に変異イメージで表示可能 一般の4ユニット車にシステム搭載可能 走行しながら1m幅の連続計測が可能
レーダ装置	MPLレーダ	
調査深度	約40cm(条件による)	
計画幅	約1m/回	
連続計測距離	50m	
計画対象	内部空洞・ジャンカ・浮き等	

MES 三井造船株式会社

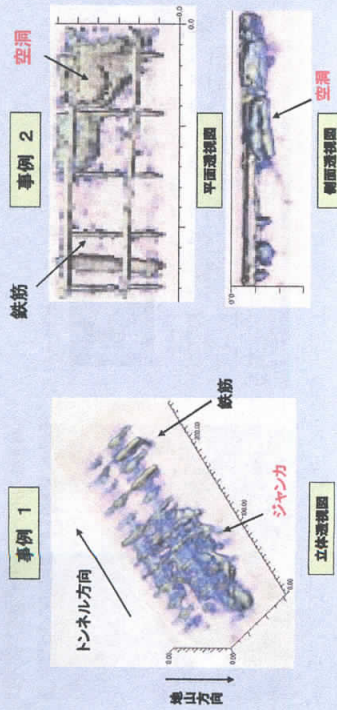
3-2. MESレーダ ラインナップ(抜粋)



MES 三井造船株式会社

4-1. トンネル覆工コンクリート内部変状調査(RC部)②

トンネルの覆工コンクリート内の空洞発生を検知した例



4. 適用事例その1 / MPLAレーダによる調査事例

4-1. トンネル調査への適用例

- ・トンネル覆工コンクリート内部変状調査①-④
- ・トンネル覆工検査サービス

4-2. 道路・橋梁調査への適用例

- ① RC床版
- ② PCグラウト充填調査(PEシース)
- ③ RC中空床版
- ④ 構脚配筋調査

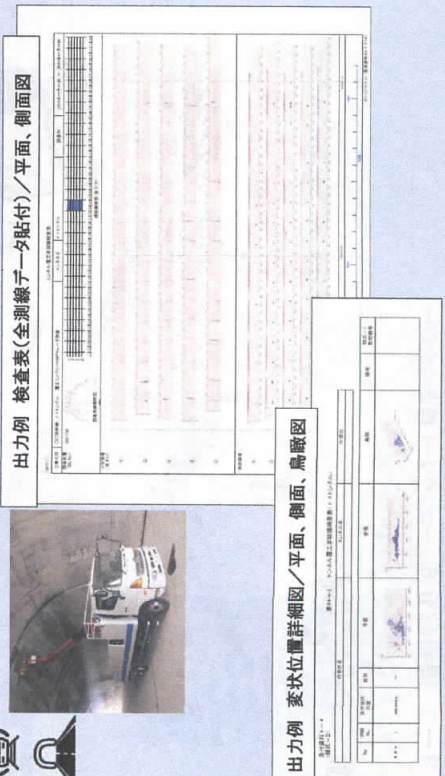
4-3. その他の適用例

- ① 空港滑走路変状調査
- ② 建築物配筋調査

4-1. トンネル覆工コンクリート内部変状調査③

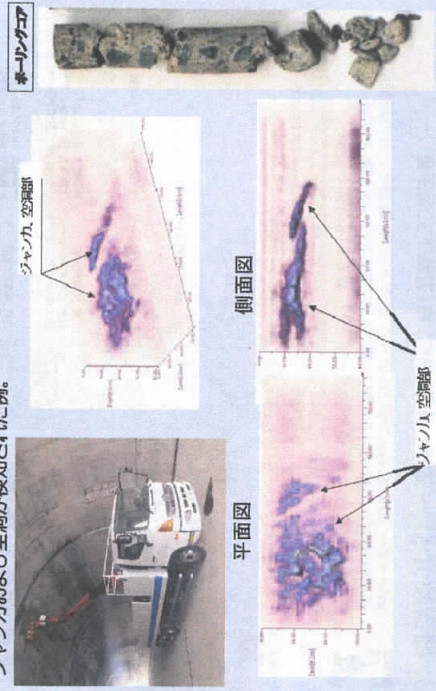
トンネルにマルチバスアレイレーダを適用し、覆工コンクリート内部変状を調査。

出力例 検査表(全測線データ貼付)/平面、側面図



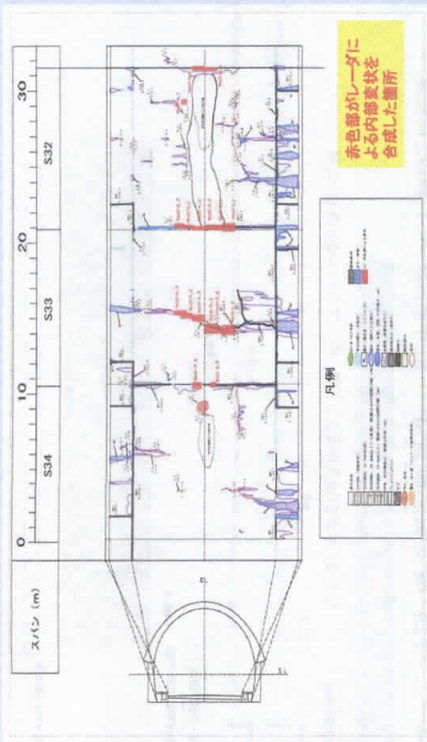
4-1. トンネル覆工コンクリート内部変状調査①

トンネル(無筋コンクリート)にマルチバスアレイレーダを適用し、ジャンカおよび空洞を検知された例。



4-1. トンネル覆工検査サービス

表面（レーザー）と内部（レーダ）の変状データを統合した例



赤色がレーダによる内部変状を
合成した箇所

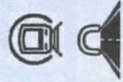
凡例

MIMES 三井造船株式会社

31

4-1. トンネル覆工コンクリート内部変状調査④

トンネルにマルチパスアレイレーダを適用し、覆工コンクリート内部変状を調査。



調査結果画像例

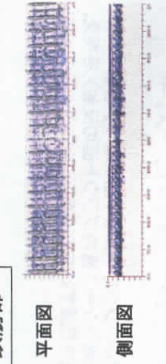
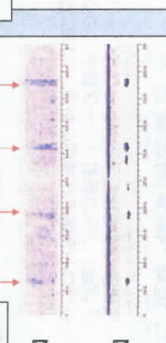
変状・異常



鳥瞰図



鉄筋部

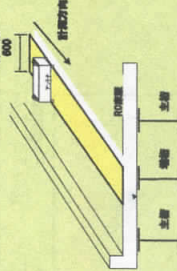


MIMES 三井造船株式会社

29

4-2. 道路・橋梁関連調査① -RC床版への適用例-

RC床版をマルチパスアレイレーダで調査し、不自然な配筋状況を検知した例。
床版撤去時に調査箇所を確認した結果、同スラブにて鉄筋ピッチに大きな差がある部位が見つかった。



MIMES 三井造船株式会社

32

4-1. トンネル覆工検査サービス

トンネル覆工非破壊検査

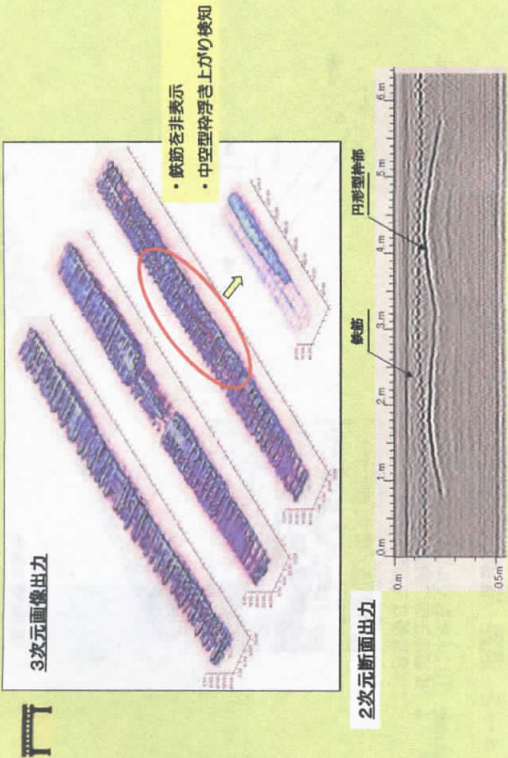
「トンネルマルチパスアレイレーダ」による
表面撮影検査・非破壊検査
データの統合が可能なサービス！



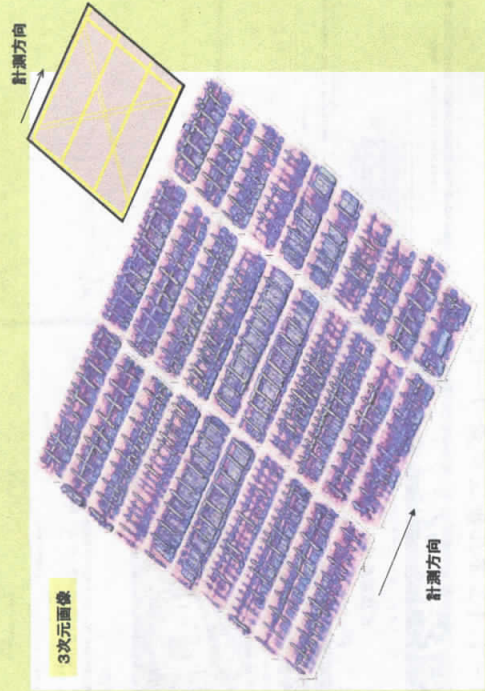
MIMES 三井造船株式会社

30

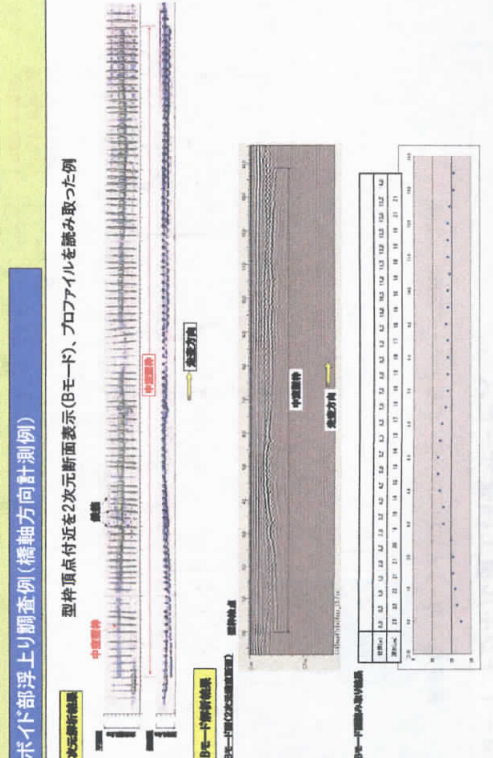
4-2. 道路・橋梁関連調査③ -RC中空床版その1(橋軸方向計測)-



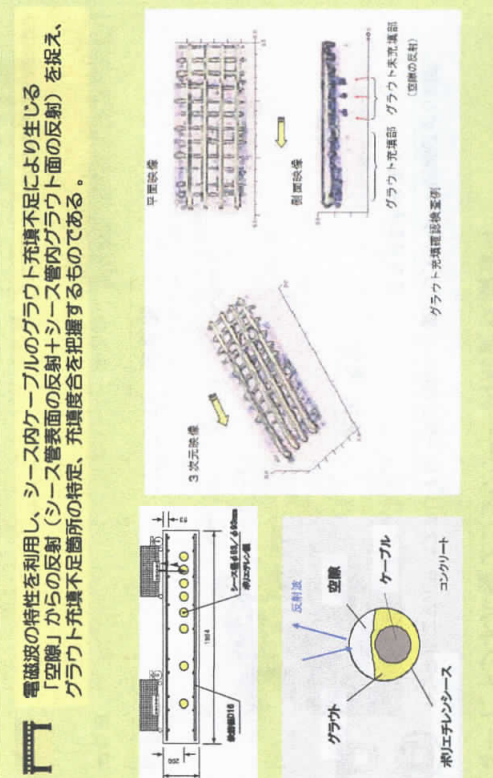
4-2. 道路・橋梁関連調査① -RC床版への適用例-



4-2. 道路・橋梁関連調査③ -RC中空床版その1(橋軸方向計測)-



4-2. 道路・橋梁関連調査② -RCグラウト充填調査(PEシース)-



4-2. 道路・橋梁関連調査④ 橋脚配筋調査その2-1



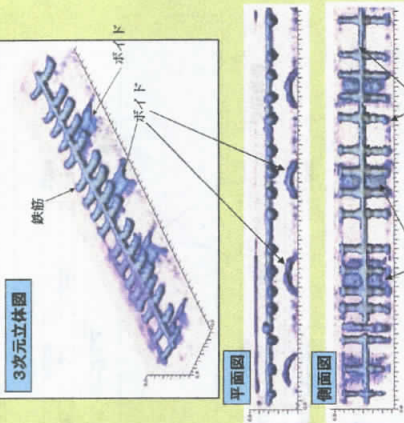
橋台断面図



MIMES 三井造船株式会社

39

4-2. 道路・橋梁関連調査③ RC中空床版その2(構軸直角方向計測)

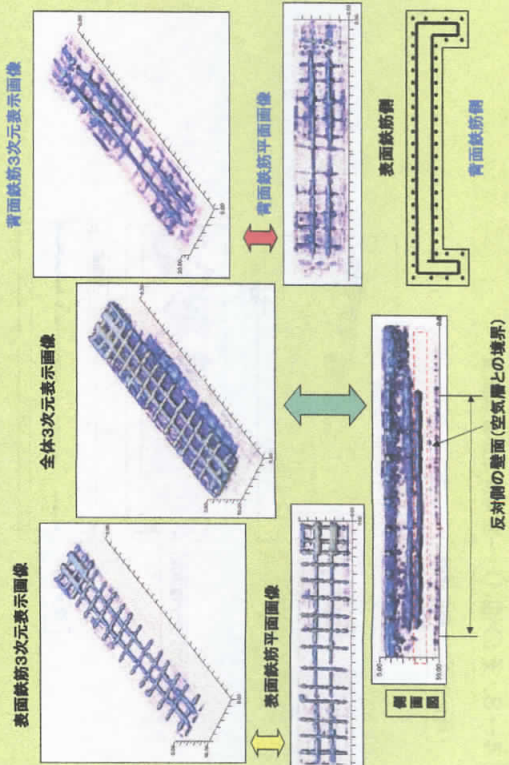


構軸直角方向計測状況図

MIMES 三井造船株式会社

37

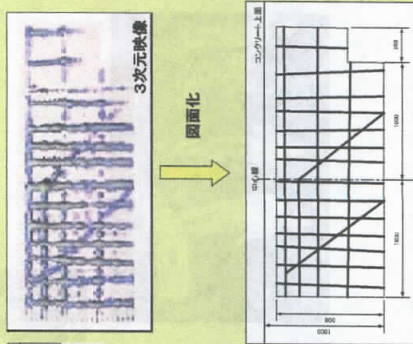
4-2. 道路・橋梁関連調査④ 橋脚配筋調査その2/二重筋探索例-1



MIMES 三井造船株式会社

40

4-2. 道路・橋梁関連調査④ 橋脚配筋調査その1-

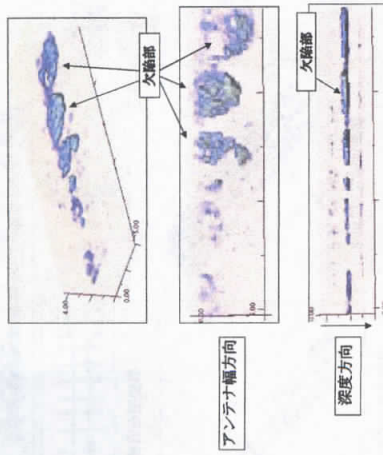


MIMES 三井造船株式会社

38

4-3. その他① 空港滑走路変状調査

特定測線の欠陥部確認



4-3. その他① 空港滑走路変状調査



計測状況 (MPLA 5GHz)

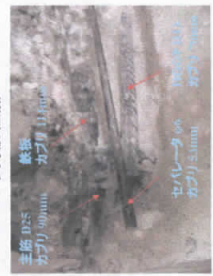
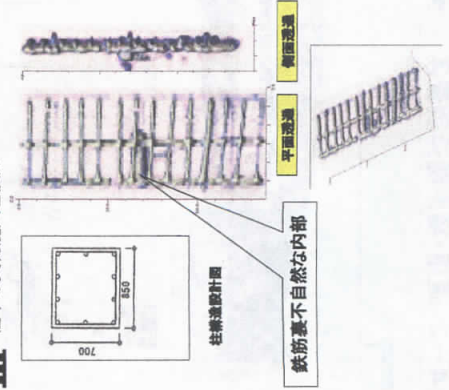


マーキング状況

4-3. その他② 建築物配筋調査その1



柱中の異物混入を検知

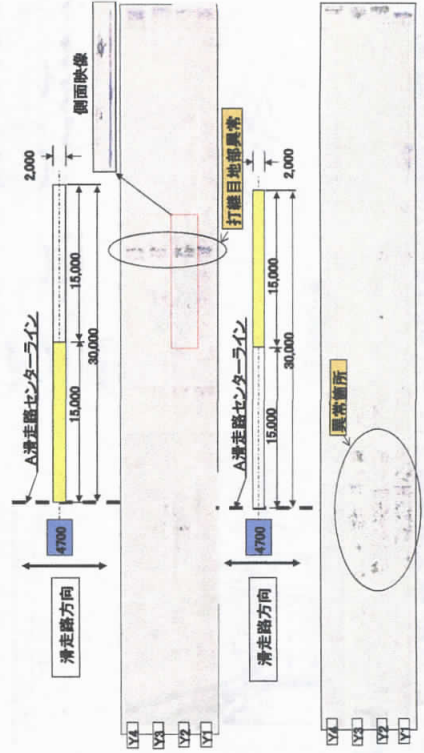


(真横断) ハズリ状況(拡大)

4-3. その他① 空港滑走路変状調査

滑走路全体の欠陥部

*滑走路の舗装裏面に発生した剥離部が把握できる



5. 適用事例その2 / その他レーダによる調査事例

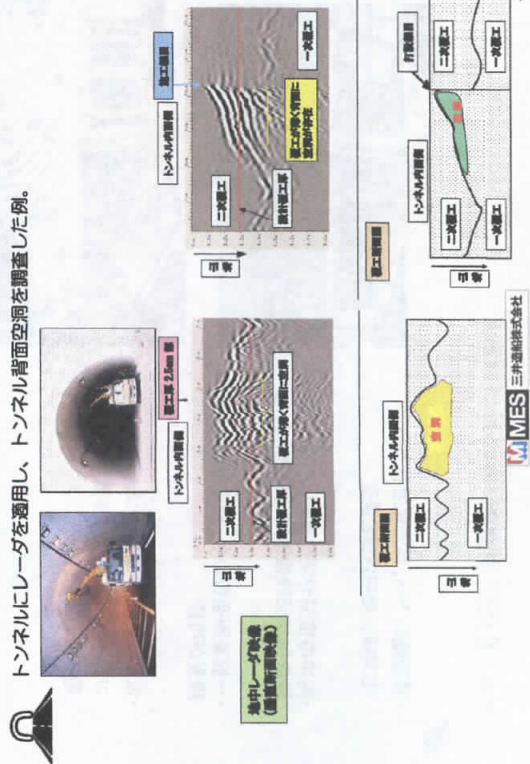
- 5-1. トンネル背面空洞調査
- 5-2. 線路下空洞探査
- 5-3. コンクリートかぶり調査
- 5-4. 道路空洞調査
- 5-5. 複合探査(レーダ+レーザー)

47

MES 三井造船株式会社

5-1. トンネル背面空洞調査

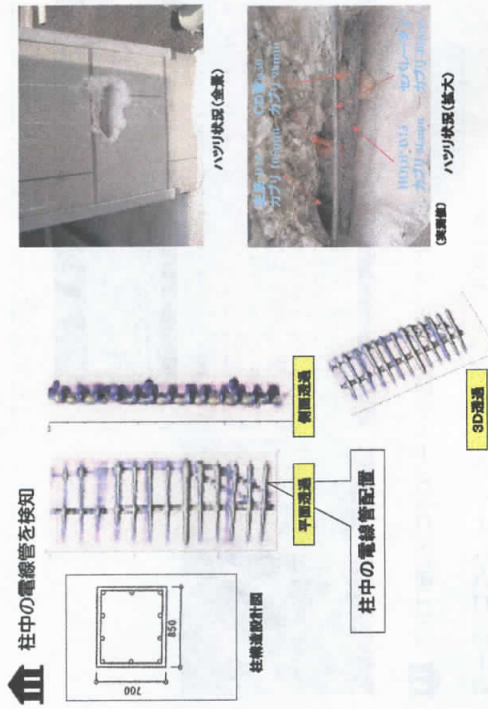
トンネルにレーダを適用し、トンネル背面空洞を調査した例。



48

MES 三井造船株式会社

4-3. その他② - 建築物配筋調査その2 -

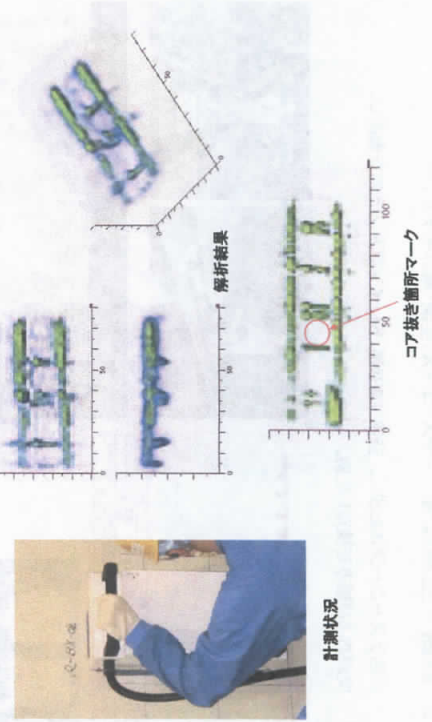


45

MES 三井造船株式会社

4-3. その他③ - 建築物配筋調査その2: コア抜き箇所特定

コンクリート壁内の配筋等を選択してコア抜き箇所を特定した例。



46

MES 三井造船株式会社

5-4. 道路空洞調査

- ・探査幅2.5m、探査深度1.5m、15測線の地中内部を調査
- ・地中の空洞や埋設管をリアルタイム表示(3次元映像化)する機能を付加
- ・一般車両通行の中、時速50kmで空洞調査が可能
- ・位置情報は路面状況と左右・後方のカメラ映像及びHD-GPS信号と同期した電子情報として記録

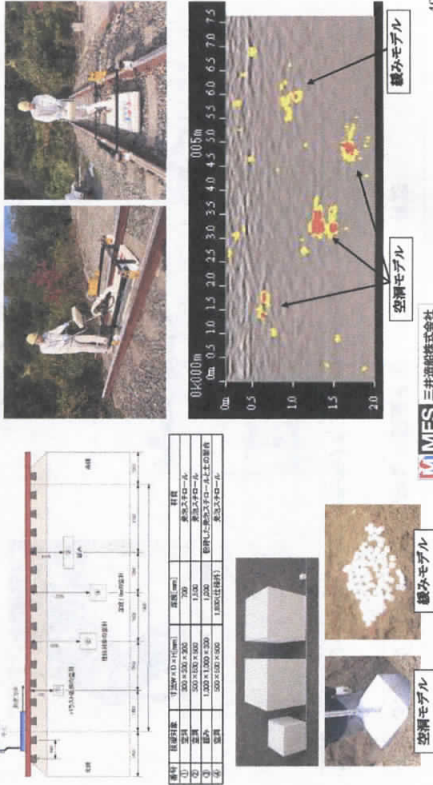


MES 三井造船株式会社

51

5-2. 線路下空洞探査 (空洞・縦みモデル) -

線路テストコース(MES)に、空洞探査装置(トレーン型アンテナ)を適用し、空洞および縦みを検知した例。

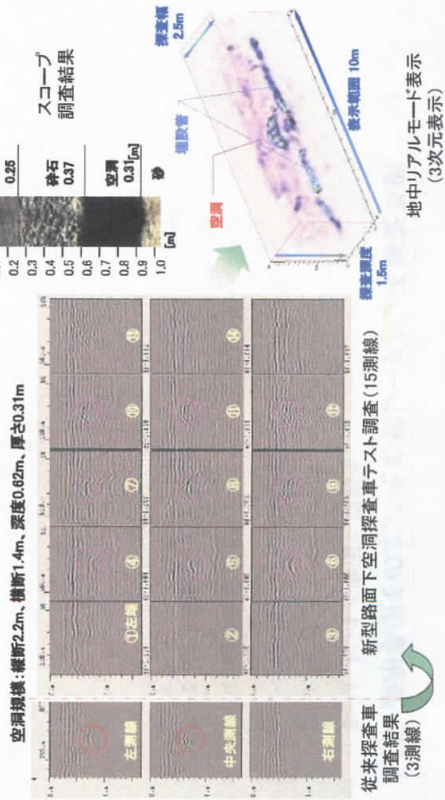


MES 三井造船株式会社

49

5-4. 道路空洞調査 -データ例-

市街地テスト調査結果1

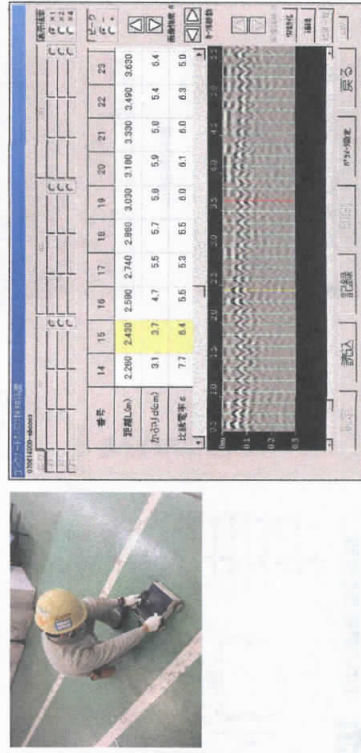


MES 三井造船株式会社

52

5-3. コンクリートかぶり調査 -解析結果例-

自社工場の床(コンクリート)の配筋状態を計測した例。

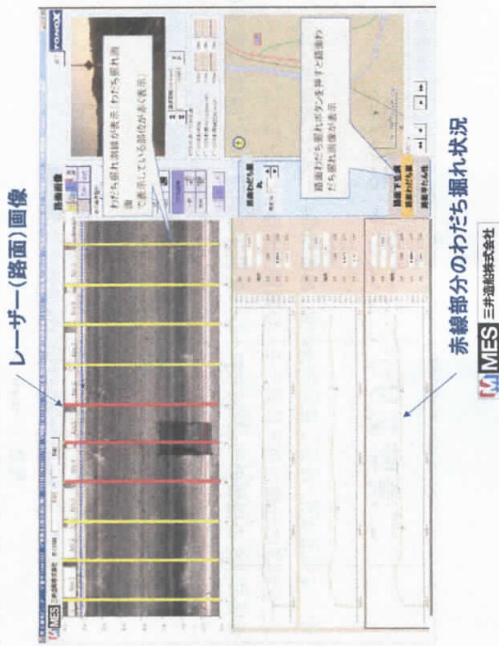


MES 三井造船株式会社

50

5-5. 複合探査 - データ例③ -

【 路面性状: わだち掘れ 】



55

5-5. 複合探査 - データ例① -

【 路面下空洞(断面)+路面画像 】



53

5-5. 複合探査 - データ例④ -

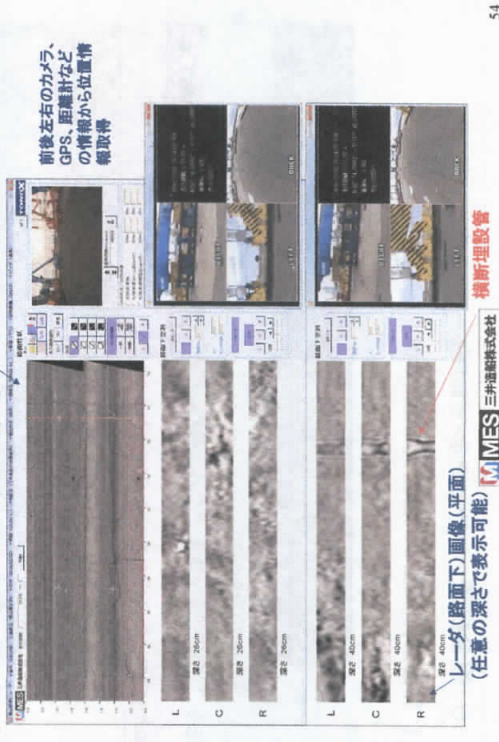
【 路面性状: 平坦性 】



56

5-5. 複合探査 - データ例② -

【 路面下空洞(平面)+路面画像 】



54

6. まとめ

- ・MESレーダ技術のご説明と製品のご紹介を行いました。
- ・MPLAレーダおよびその他レーダの適用事例を計測対象別にご紹介しました。

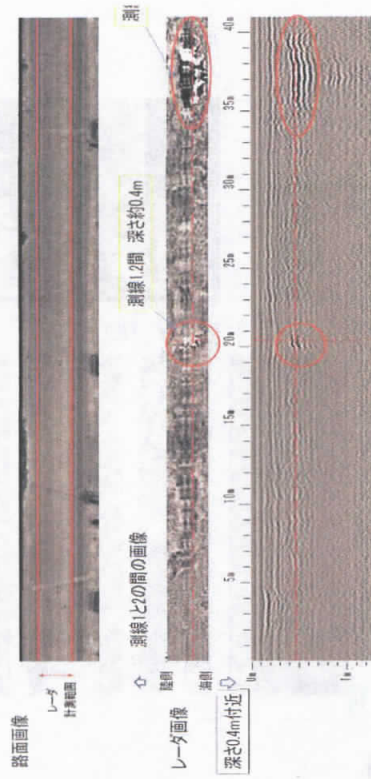
ご清聴ありがとうございました。

当Gr.は機器販売・路面下空洞調査の他、お客様のニーズ・計測環境に応じて、レーダ装置の仕様検討・計測予モ・装置開発を行っております。今回ご紹介の機器の他、計測対象へレーダ装置の適用等のご検討・ご要望がございましたら、以下の連絡先までお問い合わせください。

◆連絡先：三井造船株式会社
 社会インフラ総括部 営業グループ
 TEL：03-3544-3221 ・ FAX：03-3544-3055
 宇山 (E-mail：naohide@mes.co.jp)
 亀池 (E-mail：kameike@mes.co.jp)

5-5. 複合探査 - データ例⑤/道路調査 -

【路面性状：表面+内部変状(断面・平面)】



5-5. 複合探査 - データ例⑥/橋梁床版変状調査 -

【路面性状：表面(ひび割れ)+内部(変状)+平坦性】

