



# 技報

## 拡張されたTWI施設 Expanded TWI Facilities

ケンブリッジにあるTWIの主要施設の大規模な拡張が完了し、スタッフは3つの新設ビルに移動しました。

ビル①には食堂と会議用設備が入っています。また、ミーティングルームとトレーニングルームがずらりと配置されており、TWIの研修・認証チームの新たな本拠地となります。



ビル①外観

ビル②は、構造物健全性 (Structural Integrity) グループのスタッフ、非破壊試験 (NDT) 研究用の新しい実験施設、そしてTWIの子会社であるPlant Integrityのための新しい本拠地となります。国立構造物健全性研究センター (NSIRC、National Structural Integrity Research Centre) のスタッフと研修生も、さまざまな研究施設と共にこの建物が拠点となります。

ビル③は、TWIの新たなエンジニアリングホールで、新しい機器のほとんどが収容されます。



ビル③のエンジニアリングホール

この拡張計画の一環としてTWIは幸運にも、より多くの基礎研究活動をサポートするための設備投資の資金を確保しています。こうした設備は、メンバーをサポートするTWIの能力を大きく拡大します。

新しい設備は以下のとおりです。  
最先端の機械的試験装置：

- 250kN万能試験機
- 600kN引張圧縮試験機
- 100kN引張圧縮試験機
- 低ひずみ速度試験機
- 50J衝撃試験機
- 750Jシャルピー衝撃試験機
- 50J IZOD試験機
- 2500kN油圧サーボ式疲労試験機
- 1000kN油圧サーボ式疲労試験機
- 回転曲げ疲労試験機

- 高温高圧オートクレーブ
- 新型コールドスプレー装置
- 3Dレーザー振動計
- 新型拡散接合装置
- 6軸UT浸漬タンク
- 走査型電子顕微鏡 (SEM)
- 低圧SEM (EDX/WDX装備)
- 3D X線顕微鏡
- 振動監視・アコースティックエミッションシステム
- X線回折計
- 新型高出力EBW機 (大型チャンバー)



シャルピー試験

## 日本語Webサイト Japanese web site

日本のTWIメンバーに提供されているサービスの水準を向上させるために、TWIは日本語のWebサイトを立ち上げます。このサイトでは、TWIから利用できる基本的サービスに関する情報を調べ、関連するニュース項目を選択することができます。

また、TWIの日本語のニュースレターへのリンクも掲載され、将来的には掲載されていたコアリサーチレポート/CRPの要約もWebに移動します。

## ジョイントインダストリープロジェクト (JIP/Joint Industry Project, JIGSP)

TWIは、長年にわたって手がけてきたマルチクライアント方式のプロジェクトで大きな成果を上げています。TWIはこうしたプロジェクトをグループスポンサープロジェクト (GSP, Group Sponsored Project)と呼んできましたが、現在の慣例に合わせて名前をジョイントインダストリープロジェクト(JIP, Joint Industry Project)に変更しました。

こうしたプロジェクトにより、TWIメンバーはグループで協力し、より大規模なプログラムに共同で参加することができます。プロジェクトの費用と成果はグループで共有され、参加企業はTWIと連携し、他の考えられる方法よりもはるかに短期間に技術開発を促進し、アイデアを商品化することができます。

これらのプロジェクトの多くは、1つまたは複数の産業セクターの関心分野に対応しています。そして、参加企業は業界規格の重要な改善を裏付けるデータを生み出したり、安全問題に取り組んだり、既存の規格が保守的すぎると見なされる分野の改善に積極的に取り組んでいます。

その他にも、新たな技術のより短期間での開発の例があり、参加企業がこのような開発を出来るだけ早く活用することを可能にしています。

以下は現在進行中のJIPの例です。

- 摩擦攪拌接合 (FSW)によるアルミ合金の肉厚部の効果的な接合
- レーザークラディングによるレールヘッドの修復
- 高圧水素下試験
- 積層造形で作られた部材の適格性
- 高性能鋼板のFSW
- 局部パッチ溶接の熱処理後の残留応力の予測
- 複雑形態溶接継手の健全性の改善
- 航空宇宙用部材のために改良された超音波映像技術 (FMC/フル・マトリックス・キャプチャー)
- 複合材料の機能性を高めるCompoSurfコーティング技術

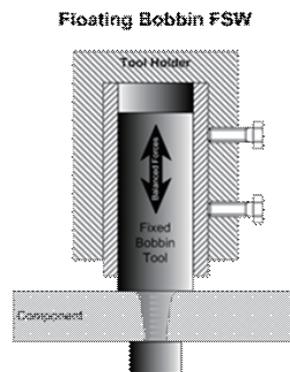
これらのプロジェクトの更に詳しい情報は、JIPシニアコーディネーター Kirsty Jones (Kirsty.jones@twi.co.uk)にお問い合わせ下さい。

## 低反力FSW装置の開発 Low force FSW machine development

TWIは、数多くのパートナーと協力し、造船所の現場で使用できる移動式FSW装置を開発しました。このプロジェクトは、第7次欧州研究開発フレームワーク計画 (European Union Seventh Framework Programme) から資金供給を受けました。

このプロジェクトの課題は、低価格で持ち運びができ、パネルと溶接の長さに制限がないクローラーモジュールを備えた移動式FSWシステムを開発することでした。このシステムは、加圧力に対抗できなければならない、FSWツールが接合線上を正確にしかもスムーズに動くことが必要でした。

FSWの主な制限の1つは、接合中にツールの正しい位置を維持させるため比較的高い加圧力がプロセスで必要になることです。このため、今までは移動型機械で使用することができませんでした。この問題を解決するために、TWIはフローティング・ボビンFSWと呼ばれる新たな改良型プロセスを選択しました。この技術により、加圧力ははるかに少なくてすみ、バックアップバーは必要なく、制御が非常にシンプルになり、キッシングボンドが発生する可能性がなくなります。



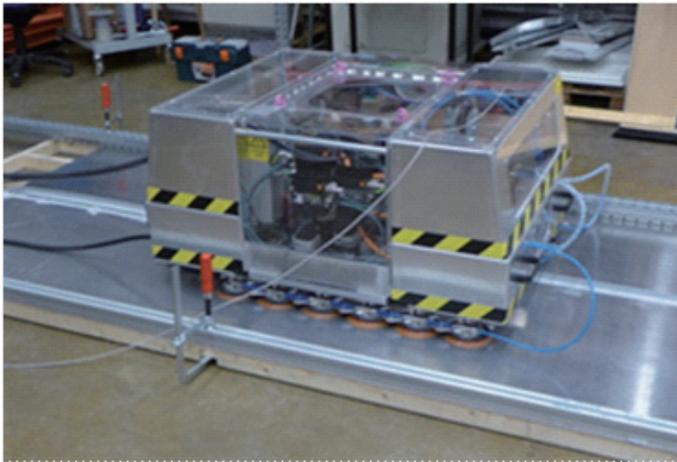
Mobi-Weldプロジェクトは、下記のような大きな技術的課題に取り組む必要がありました。

- 6mmと4mmのAA5083-H111とAA6082-T6を溶接するのに適した低加圧力FSWツールの開発
- 部材に対してFSWツールが正しい位置と方向にあることを確実にするための位置決めシステムと、溶接線を識別するための自動継手追跡システムの統合
- 溶接ヘッドをパネルの広範な断面で動かすことができ、造船所の環境内での配備が可能なクローラーシステム的设计

このプロジェクトでは、溶接する部材間の継手におけるギャップを部材厚さの5%まで許容し、溶接部のISO 25239規格への適合の可能性が示されました。このプロセスはまた、0.3mmまでの部材厚さの変動に対しても対応し溶接することができました。

クローラーは、フィンランドのVTTが設計と組立を担当し、機械部品のはほとんどは内製です。クローラーの動きとシームトラッカーを同期させ、ツールを連続的に作動させて継手に合わせる制御システムもVTTが開発しました。この装置は、バキュームカップを使いアルミプレートに取り付けられ、溶接部を形成するための継ぎ目に従ってプレートに沿って移動します。

このタイプの機械は世界初であり、この分野における飛躍的な進歩を表しています。



プロジェクトのために作られたクローラー

- 減衰量を測定し船体に堆積した付着物の検出
- 高度な信号処理技術を駆使し、付着物の堆積と増加による長期的な減衰量変化を計算し予防メンテナンスシステムにつなげる

TWIのロングレンジガイド波技術であるTeletest®を含むさまざまな超音波システムが、最初の実地試用で試用され、およそ45日間にわたって続けられました。この試用からフィードバックを受けた後、本プロジェクトが十分な成果を上げているオランダにおいて、CleanShipコンソーシアムは3か月の実地試用を設けてさらなる検証に着手しました。海運業界はこの新しい技術に大いに注目しています。



SS Rotterdam号とCleanShipコンソーシアム、オランダにて

## 船体の付着物の防止と検出 – CleanShip Prevention and detection of marine fouling on ships - CleanShip

TWIとの長期にわたる戦略的パートナーとして活動する研究所、Brunel Innovation Centre (BIC)、に所属するエンジニアは、EUが資金提供する2年間の汎欧州共同プロジェクトを完了し、船体への付着物の堆積を検出して防止する効率的で母材に悪影響のない新しい方法を開発しました。

世界の海運業界は、付着物に関する問題と課題に対処するために数十億ポンドを支出しており、塗装や洗浄ツールなどさまざまな方法を用いています。付着物に対して防護措置を半年怠ると、船体への抵抗が増して燃料が最大40%も余分に必要になり二酸化炭素の排出量が40%増加することにつながります。

CleanShipの目的は以下のとおりです。

- 船の運航を中止する必要なしに、付着物の堆積を防止できるコスト効果の高い方法の開発
- 付着物の堆積を防止または抑制させる連続的な超音波の利用
- パルス波の連続的監視と付着物の増大による変化を調べ早期検出と低コストの除去を可能にする、

CleanShipシステムは、以下の重要な利点を開発しました。

- 超音波ガイド波を使用し、最終的に船体を全体的に付着物防止する、

## 新しい破壊靱性標準 New Fracture Toughness Standard

TWIのエンジニアであるPhilippa Moore博士が率いる委員会では、シングル-エッジ-ノッチ-テンション (SENT) 試験のガイダンスとなる新しい英国標準を発表しました。

英国規格BS 8571:2014は、SENT試験が標準化されたことを初めて表明したもので、パイプラインの周溶接手順を認定するためにSENT試験がますます多く実施されている石油・ガス業界のTWIメンバーが大きな関心を示すこととなります。

英国規格協会 (BSI) でこの規格の作成を担当した委員会は、破壊靱性試験を専門とするTWIエンジニアのPhilippa Moore博士が指揮しました。委員会が数年を費やしたこの規格は鋼材に適用され、亀裂先端開口変位 (CTOD) とJ積分の観点から、シングルポイントとR曲線の両方の破壊靱性をカバーします。

この規格がカバーするガイダンスの範囲には、試験片の設計と準備、試験手順、計測、データ解析が含まれます。

TWIは、SENT試験の有効性の改善に向けて重要な研究を進めてきました。たとえば、この手法の業界規格化を目指した2年間の共同産業プロジェクトJIPです。このプロジェクトの一環として実施

された研究は、今回の新しい規格の開発に役立ちました。



破壊靱性を調べるためにノッチの口に2つのクリップゲージを取り付けた、SENT試験中の試験片

## ポリエチレン製パイプ継手の非破壊検査 - PolyTest

### Volumetric non-destructive inspection of polyethylene pipe joints - PolyTest

TWIは、ポリエチレン (PE) パイプのエレクトロフュージョン/ EF継手とバットフュージョン/ BF継手の欠陥を確実に検出できる新しい検査システムを発表しました。

一連のイノベーションの中で最も新しいPolyTest™は、超音波検査で培われたTWIの専門知識を新たな応用に広げた装置です。この装置を使用して、外径90～710mmで肉厚8～65mmのPEパイプのEF継手とBF継手を現場で検査することができます。

PolyTestは完全な携帯型で、低温溶融、汚染物質、溶込み不足などが原因で溶接継手に引き起こされる欠陥を識別するため、フェーズドレイ超音波検査技術を用いたシステムです。

フレキシブルなこのモジュール装置は、検査する溶接部に隣接するパイプの外側に据え付ける車輪付きチェーンリンクで構成されています。チェーンリンクシステムは、溶接部の円周に沿って回転し、搭載されたトランスデューサーが完全な溶着試験を行います。

TWIは、EF継手とBF継手の両方に対応するPolyTestのためのトランスデューサーを内蔵した特殊な被膜 (membrane water wedge) を開発しました。ウェッジはトランスデューサーによって電子ステアリングを最小限にするように最適化されており、被膜は水を吸収して接触面の形状に順応する柔軟性のある材料で作られています。このシステムは、給水の必要もなく溶接部の全範囲を検査します。

人為的な欠陥を施した200以上の溶接パイプ継手で行った完全

試験では、肉厚65mmまでの継手でこの装置の検査能力が検証されました。そして、改良を加えれば、さらに肉厚のあるパイプも検査することができます。さらにTWIは徹底的な試験を通じ幅広い溶接方法と材料の組み合わせに対して、合格基準と危険な欠陥寸法を決定しました。

PolyTestは、結果を即座に出して永久に記録します。これはEN 13100-3とASMEの関連基準の要件に準拠しており、検査員はPE溶接継手の健全性について信頼性を高めることができます。

このシステムは、ガス、水道、原子力を含むあらゆる産業セクターのPEパイプに使用でき、溶融継手に対し規制当局で求める必要な検査要件を満たしています。



EF継手の検査で使用されているPolyTest TWIは、ポリエチレン(PE)パイプのEF継手とBF継手の欠陥を確実に検出できる新しい検査装置を発表しました。

## コールドメタルトランスファー (CMT/Cold Metal Transfer) 方法を使用する アルミ合金部材の積層造形 Additive manufacture of aluminium alloy components using the Cold Metal Transfer (CMT) process

TWIは、加工コストと材料のムダを最小限にするために、複合部材の積層造形 (Additive Manufacture) に対するアーク溶接技術の使用について研究を続けています。

現在の積層造形技術の多くは、消耗品である粉末金属を使うレーザーか電子ビーム方式をベースにしています。こうした技術は、精度は高いもののスピードはさほど速くありません。アーク溶接を使用すると積層速度は大幅に改善されますが、精度が犠牲になります。このことは、いくつかの応用分野に対して関心が高まる可能性があります。

コールドメタルトランスファー/CMTは、不活性ガスを使うMIG溶接法の入熱量を低くしたもので、現在のワイヤは積層 (dip transfer) を制御するために機械的に振動します。

TWIが進めているコアリサーチプログラム (CRP) の一環として、単純

なアルミニウム構造物を作るプロセスを使用しコンセプトの実証実験が実施されています。このアプローチは、レーザー処理で溶着を難しくする高い反射性 (reflectivity) のあるアルミニウムの溶着には特に興味深いものです。CMTプロセスは、ロボットシステムでの使用だけを前提に設計されているため、製造ラインのプロセスで複雑な構造を繰り返し生成するために予め設定したパスが使用される積層造形に適しています。機械式のワイヤ制御はスパッターの抑制につながり、後の機械加工の量を最小限にするために重要で、また低入熱は母材の溶融量を最小限にします。

比較的高い溶着速度は、相対的に短い時間で大量の構造物の生成を可能にします。たとえば、直径1mmのワイヤを使って5183グレードアルミ構造物を生成すると、溶着速度は0.94kg/hになりました。鉄鋼とニッケル合金も同様の量を溶着することができると予測されています。

CMTプロセスは、垂直または水平方向のオフセットのどちらかのマルチパス溶接によって“壁”と“パッド”を作ることができました。垂直の壁は、標準的な垂直トーチ調整で簡単に作れましたが、実験では、トーチ角を望みの方向に沿って変化させることで、構造物を幅広い方向に作ることができました。図1は、水平の基板の上で作ることで実現された方向の範囲の例を示しています。こうした異なる方向は、すべて同じ溶着速度で作られました。

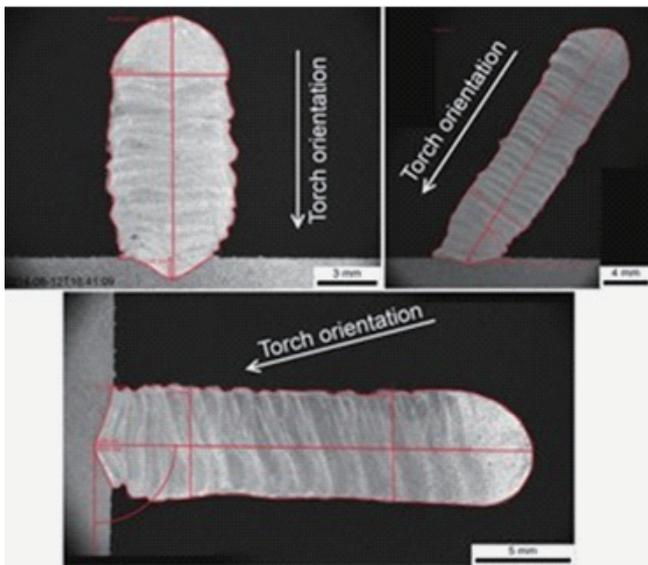


図1 - CMT方法で可能な、一方向に延びた方向の範囲

この技術は、中間層溶着が良好であることから、ポロシティのない高品質の溶着を作ることができることを示しました。図2は、ある特定の角度で実行したときでさえ確かな規則正しさがあることを示しています。

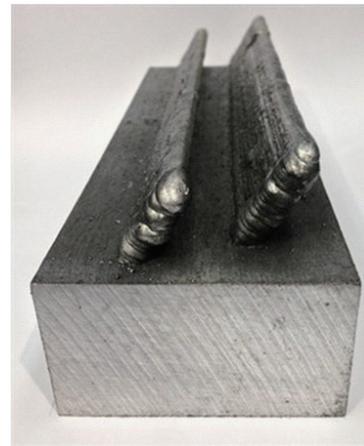


図2 - 60度で生成された溶接ビードの例

生成された溶接ビードの大きさは、高さ1~3mmと幅1~5mmとさまざまでした。つまり、この方法は、所定の形態に必要なパスの数を最小限に抑えることができるため、部材に要求される最終形態に基づいて調整できます。TWIは、この技術がここに示した単純な構造物以外にも利用できるように、さらに複雑な構造物における開発を続けています。

この技術には、ニッケルやチタン合金といった高価な材料や機械加工の難しい材料で作られる構造物の製造にも大きな可能性を持っています。TWIは、進行中のCRPの一環として、こうした可能性について調査を続けています。

## アレイ超音波技術をリアルタイムで使用した 疲労亀裂成長の測定 Measuring the crack growth rate of a fatigue crack using array ultrasonic technology in real-time

TWIは、アレイ技術を使用して疲労亀裂成長をリアルタイムで監視することに取り組んでいます。破壊過程にある亀裂の成長速度を確立することは、異なる負荷条件の下で材料と部材の反応を正確に理解することになるため、構造物の健全性評価の重要な部分を占めます。

標準的な試験方法では、測定のために定期的に試験を中断する必要があるNDT法を使用するため、亀裂成長は概算になります。このプロジェクトの目的は、亀裂が破壊に至るときに亀裂の超音波画像をリアルタイムで収集するシステムを作ることにあります。これにより、亀裂成長速度 (da/dt) を確定することができます。

初回の試験は、ノッチのあるシンプルな試験片で実施されました。この試験が成功したため、周溶接したパイプのフルスケールの共振疲労試験にこの技術を応用しました。図1は、パイプの設置と、2D面で亀裂を探知するために設計を修正したシステムを示しています。開発中の超音波技術には、アクティブフェーズドアレイ法とリアルタイムのFMC/フルマトリクスキャプチャ法があります。



図1：以下に示した修正済み2本プローブシステムによるフルスケールの共振試験

まとめると、この試験から以下のことが実証されています。

- 疲労亀裂成長は、アレイ超音波技術を使用しリアルタイムで監視と追跡ができます。
- 疲労試験の特定の時間における亀裂サイズがプロットのデータから分かり、試験の任意の時点における疲労亀裂成長がこのプロットの勾配から分かります。
- 映像のフレームレートと装置の繰り返し周波数は、試験終了時の急速破壊時でも亀裂サイズの測定に適応できます。

このシステムは、業界で使用される様々な重要構造物や部材に対する常時装着された監視システムとして構成される可能性を秘めています。こうした構造物や部材には、風力タービン用ブレード、船舶用ライザー、係留チェーン、航空機用部材などが恐らく含まれます。

## 風力タービン用ブレードの健全性モニタリング のためのアコースティックエミッション / AE Acoustic emission solution for structural health monitoring of wind turbine blades

TWIは、メンテナンス費用を削減し設置の信頼性を高める風力タービン用ブレード向けの高度なコンディションモニタリングシステムの研究を完了しました。この研究は、より遠方の海上にある風力発電基地の開発を可能にし、したがって陸上設置削減の圧力が緩和されます。



長さ45.7mのタービンブレードの試験

風力タービンでは、運転とメンテナンスの費用が総年間費用のかなりの部分を占めます。新しい装置にとって、こうした費用がタービンの耐用期間に占める平均的割合は、kWhごとの総費用の30%以上になります。このため、事業者はメンテナンス費用にますます敏感になり、新しいメンテナンス戦略を開発しようとしています。

海上タービンの場合アクセス費用が非常に高いため、リモートモニタリングへの関心が高まっています。さらに、風力タービンの高い故障率には、ブレードとその構造の問題が関係しています。

構造ヘルスマニタリング (SHM: Structural Health Monitoring) のためのアコースティックエミッション (AE) 技術は研究が盛んな分野で、その主な理由はノイズの多い背景から関心のある信号を抽出して識別するには、複雑な信号処理が必要になるためです。この研究の主な目的は、稼働中のブレードの構造的な健全性をAEを使用して監視する可能性を探ることにありました。

実験は国立再生可能エネルギーセンター (NaREC) にある100mブレード試験施設で行われました。亀裂が生じ始めていた長さ45.7mのブレードに対し、稼働中の負荷条件を6週間にわたって正確にシミュレートするため、異なる疲労荷重をかけました。試験の間、4つのセンサーを使用したAEモニタリングを実施しました。

実験の過程で、9,000以上のデータセットが記録されました。課題は、亀裂伝播で生じる信号を、振動による信号とブレードの動きと摩擦による“干渉”ノイズから区別することでした。

収集したデータをフィルタリングし、4つのすべてのセンサーが同じレベルの状況を記録した場合のみを選別しました。次に、こうしたデータをさらに選択・解析し当該AEイベントに当てはまるかどうか確認しました。

AE信号は特定の速度で物質内を伝播するため、信号源の位置を決定するために使用できます。イベントが密集している位置は亀裂伝播の表れとして確実に解釈することができます。

この研究は、AE信号を抽出・分類することが可能であることを立証しました。これは、AE技術がリモートコンディションモニタリングシステムで、運転・メンテナンス費用を削減するという実現可能な目標を満たす、重要な情報をもたらすまでに発展してきていることを示しています。

## 鉄道用の中実車軸を試験するためのフェーズドアレイ超音波試験検査システムの開発 Development of phased array ultrasonic testing inspection system for testing solid railway axles

鉄道車両の輪軸の構造物の健全性は非常に重要です。車軸の欠陥は脱線の原因となり深刻な問題を引き起こします。疲労亀裂の成長を検出するために、車軸の耐用期間を通して定期検査が行われます。しかし現在の中実車軸の検査システムでは完全な検査を実施するためにボギーの分解が必要です。

最近完了した欧州プロジェクトのAxleInspectは、改良した鉄道車軸検査を通してコストを下げながら安全性を高めることができるプロトタイプを開発しました。このシステムは、端面からの中実鉄道車軸の実地検査にフェーズドアレイ超音波試験 (PAUT) を使用します。このアプローチは、鉄道車軸を試験する既存の方法に比べボギーの分解が最小限ですむため、試験にかかる時間が短縮されます。

軸の形状と軸箱の幅広い構成に対応できるようなシステムが設計されました。そして、フェーズドアレイプローブは、軸端面の直径110～160mmに対応し、パルスエコー法とピッチキャッチ法で使用できるように設計されました。また、ビームステアリングとスキューリング (beam steering and skewing)機能を備えており、疲労亀裂が始まる可能性のあるすべての場所を確実にカバーします。

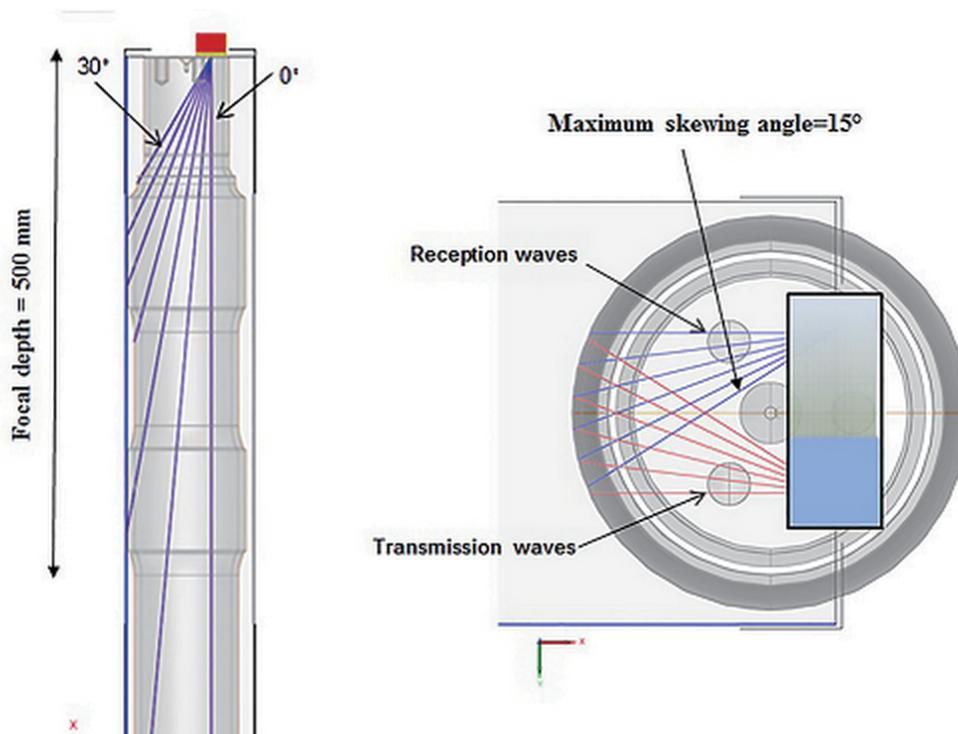
フェーズドアレイプローブのプロトタイプはプロジェクトの要件を満たしており、ビームステアリングとスキューリングの優れた機能、車軸の重要な領域の完全カバー、改善された検出能力を提供します。

開発された中実車軸検査スキャナのプロトタイプは、分解あるいは完全に組み立てられた輪軸の検査に使用することができます。

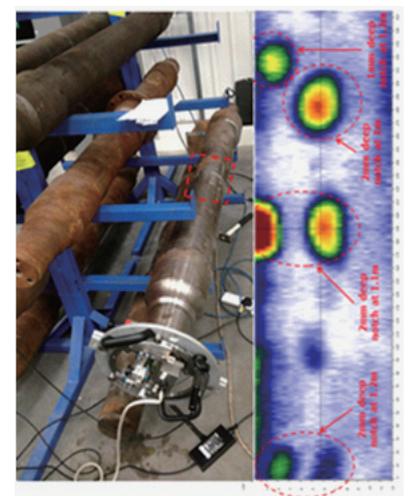
下図は、標準の長さの中実車軸の上に取り付けられたフェーズドアレイプローブとスキャナです。車軸にはさまざまな場所で異なる深さの人為的欠陥が含まれています。

AxleInspectプロジェクトに参加したのは以下の組織です。

TWI' s NDT Validation Centre、Balfour Beatty Rail、Vernon Danobat Railway Systems、IDEKO、Phenix Inspection Systems Ltd、and West Pomeranian University of Technology



プローブの性能要件



イノベーションのベンチマーク - Plant Integrity Ltdが、開発したパイプライン腐食検出システムで権威あるフロスト&サリバン賞を受賞  
The Benchmark for Innovation - Plant Integrity Ltd earns prestigious Frost & Sullivan Award for its pipeline corrosion detection system

TWIのグループ企業であるPlant Integrity Ltdは、開発したパイプライン腐食検出システムTeletest FOCUS+®で、フロスト&サリバン社の『2014 Global Guided Wave Testing Product Leadership Award』の受賞者に選ばれました。このシステムは、高度な設計、拡張機能、技術的革新性、顧客サービス、市場シェアに関して傑出していると見なされました。TWIのアソシエイト・ディレクターTat-Hean Ganと、テクニカル・ディレクターでありPlant Integrityの設立者であるPeter Mudgeはロンドンで開かれた受賞式に出席しました。



Teletest®システムは、石油、ガス、石油化学業界のTWIメンバーからの要請に応じて、TWIが1990年代に開発したもので、パイプラインの腐食検出に長距離超音波を使用した最初の商用製品でした。このシステムは、従来のNDT法では検査が困難とされる領域（たとえば、絶縁材被覆管やスリーブの施された配管、道路下の埋設管やパイプラックに載せられたパイプライン）で腐食検査にNDT法を必要とする企業に対して1つのソリューションを提供しました。

Teletest FOCUS+と名付けられた4世代目のシステムとなる低周波欠陥検出装置は、現在の市場ニーズばかりでなく、典型的なエンドユーザーと、タンクフロア検査といったニッチな応用課題にも対処できる機能と特徴を備えています。Teletest FOCUS+は、両

端各方向で30～180mの距離にわたって単一のアクセスポイントから検査を必要とする業務に対して、市場シェアのトップを占めています。このシステムは、その優れた機能によって市場で他の製品と区別されています。たとえば、24の発信チャンネルと24の受信チャンネルは、マルチモード操作を可能にするクラス最高の機能です。広い周波数レンジを持つこのシステムは、周波数の設定もできます。また、軽量設計で持ち運びが可能のため、現場での検査で大きな威力を発揮します。マルチモード機能により、縦モードとねじりモードの両方で使用できるので、このパイプライン試験システムは、幅広いアプリケーションに適しています。また、フェーズドアレイの時間遅延を利用して二次元的な精焦点処理ができるのは、Teletest FOCUS+だけです。



ロンドンでフロスト&サリバン賞授賞式に出席したPlant Integrity Ltd チーム

#### TWIの定期刊行物

編集: Penny Edmundson  
技術&メンバーシップのお問い合わせ先:  
Graham Wylde, Email: Graham.Wylde@twi.co.uk  
Fred Delany, Email: Fred.Delany@twi.co.uk  
TWI Ltd., Granta Park, Great Abington,  
Cambridge CB21 6AL, UK

角張隆男、福田哲夫  
TWI Japan at UK Dodwell / (有) ドッドウェル  
〒110-0014 東京都台東区北上野 1-12-4 シティアドバンス901  
Tel / Fax: 03-5826-7375  
寺田重夫 (西日本、芦屋) 、0797-24-2367  
共通E-mail: dodwell@d1.dion.ne.jp

発行: TWI Ltd, Granta Park, Great Abington,  
Cambridge CB21 6AL, UK  
Tel: +44 (0)1223 899000  
Fax: +44 (0)1223 892588  
Email: twi@twi.co.uk  
URL: www.twi-global.com  
(c) copyright TWI Ltd 2013  
記事の転載にはTWIの許可が必要です。