



# The Exel Imaging System. 2004



# Table of Contents



---

<b>EIS-500 Imaging Head</b>	
<b>Exel Imaging System</b>	Page 3
<b>Operation, 5 Easy Steps</b>	Page 4
<b>Technical Information</b>	Page 5
<b>Ordering Information</b>	Page 6
<b>EIS-3000 Imaging Head</b>	
<b>Exel Imaging System</b>	Page 7
<b>Technical Information</b>	Page 8
<b>Ordering Information</b>	Page 9
<b>EIS-CONT Controller</b>	
<b>Hardware</b>	Page 10
<b>Software</b>	Page 11
<b>Technical Information</b>	Page 12
<b>How It Works</b>	
<b>Eddy Current Detection</b>	Page 13
<b>Eddy Current Testing</b>	Page 14
<b>The Exel Imaging System</b>	Page 15
<b>System Validation</b>	Page 16
<b>Requirements</b>	
<b>Material Properties for Imaging and Flaw Detection</b>	Page 17
<b>Current Programs</b>	
<b>Exel Imaging Systems In Use</b>	Page 18

---

# EIS-500 Imaging Head Exel Imaging System



EIS-500 エクセル イメージシステムはオービタル溶接部を視覚化する画期的なシステムです。従来の X 線検査、染色浸透検査の代替として、溶接部の孔、クラックなど周囲と異なる部位の検出を数分で行うことができます。EIS-500 はハイブリッド化したエディカレント プローブをイメージセンサとして採用しています。このため使用に際し危険な X 線等の放射はありません。EIS-500 は可搬型で必要なときに必要な場所に持ち運びできます。従いまして、その場で検査できるため生産ラインへの影響を最小にすることができます。

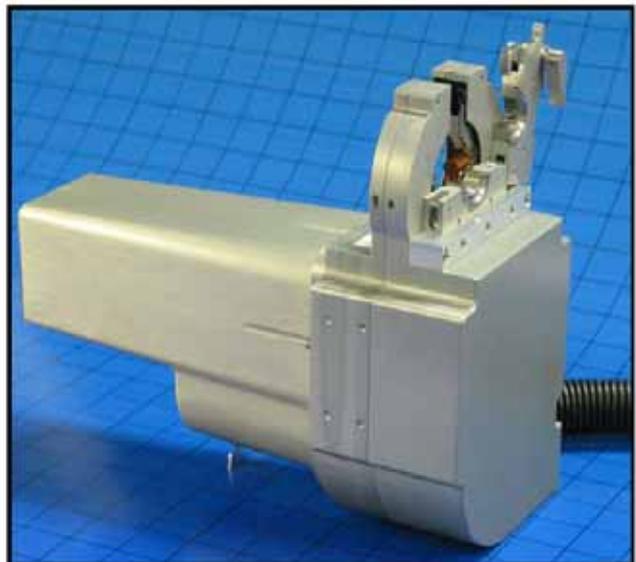
操作は簡単で、少しのトレーニングで習熟することができます。3D イメージは、不良箇所を見出すアルゴリズムが特徴のソフトウェアがインストールされたパソコンでモニタ上に描かれます。正常な部位は影付きの緑色で表示され、不良部位は赤色で表示されますので製品の良、不良の判定がたいへん楽にできます。

EIS-500 はエクセル社のオービタル溶接装置と協調できるように設計されています。オービタル溶接を行いながら、その至近の部位をスキャンして 3D イメージを表示することもできます。このように溶接をしながら、その溶接箇所を追うように溶接箇所の評価をすることができ、生産効率だけでなく生産コストも下げる効果が期待できます。

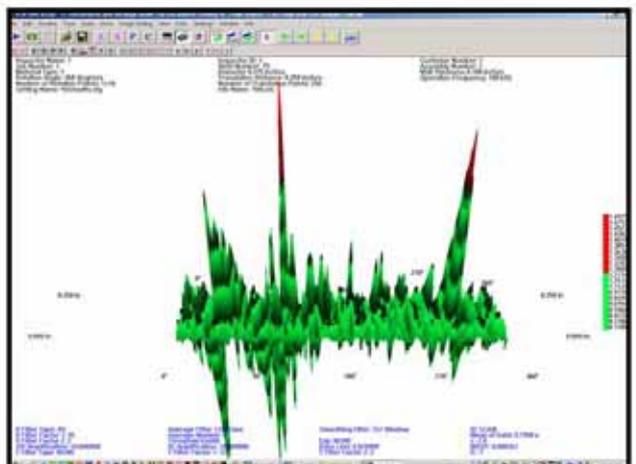
EIS-500 には溶接部とスキャン部とを一体化した IWI(Integrated Weld & Inspect)も用意されています。この IWI を使用した場合には溶接完了後、オービタル溶接ヘッドをイメージ スキャンヘッドと交換して 3D イメージを取得します。このようにしますとワークを取り外すことがないため、位置合わせなどが不要なたいへん簡単に検査できます。



EIS-500 台座付きイメージ スキャンヘッド、コントローラ



IWI スキャンヘッドと溶接部が一体

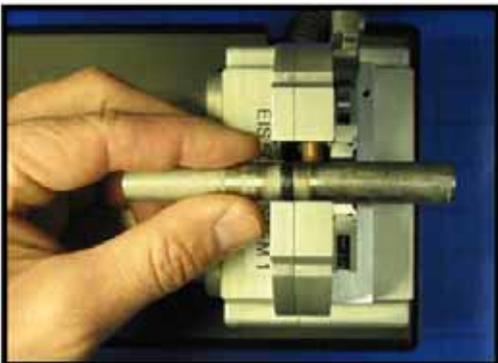


3D イメージ、孔が赤色で示されている

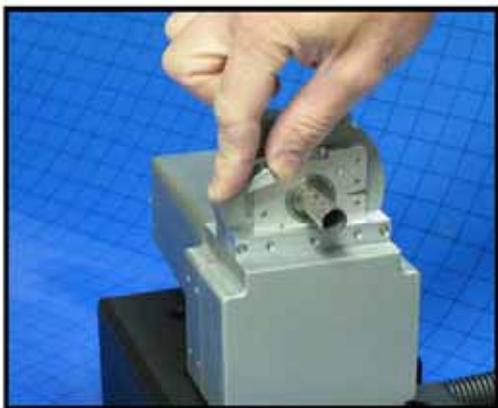
# EIS-500 Imaging Head Operation, 5 Easy Steps



Step1 : スキャンヘッドの固定具を開きます。



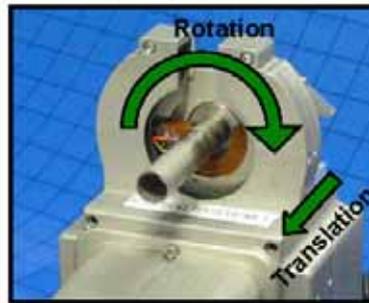
Step 2  
イメージ スキャンヘッドに溶接したアセンブリを挿入し、上図のように溶接部がヘッドの左側に来るように位置を合わせます。



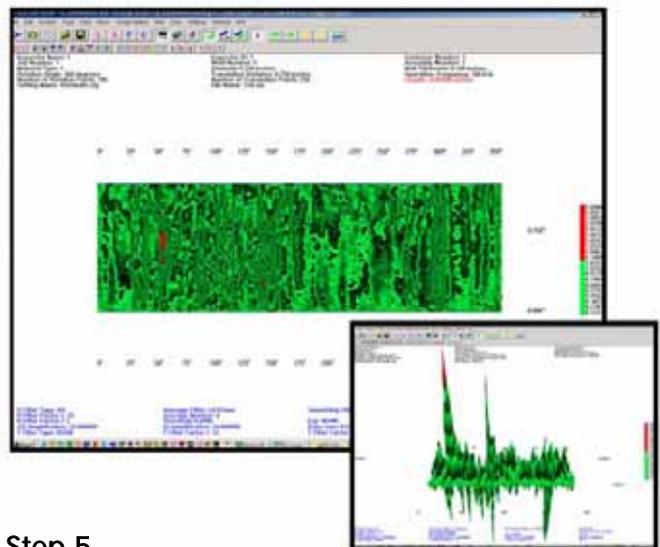
Step 3  
アセンブリをしっかりと固定します。



Step 4  
Scan をクリックします。スキャン パラメータが表示されたら Start をクリックします。

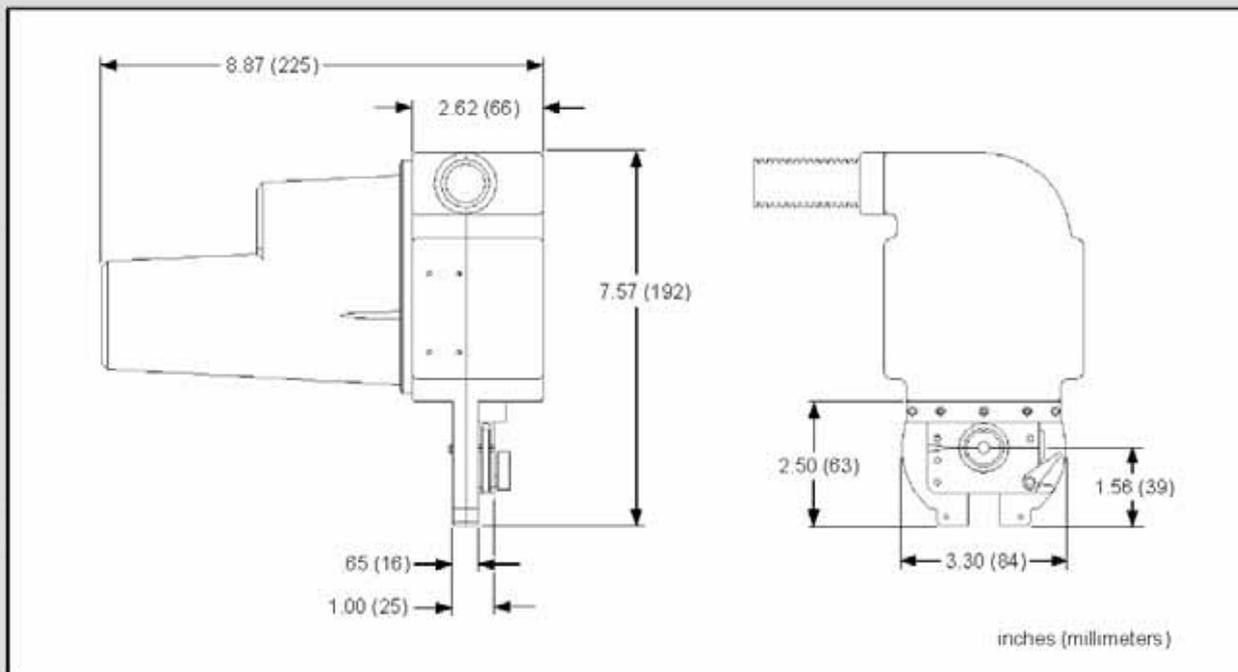


スキャン中、センサはチューブの周りを回転し、チューブは左図のように送られます。このようにして溶接部位、内外の地誌的なイメージが取得されます。

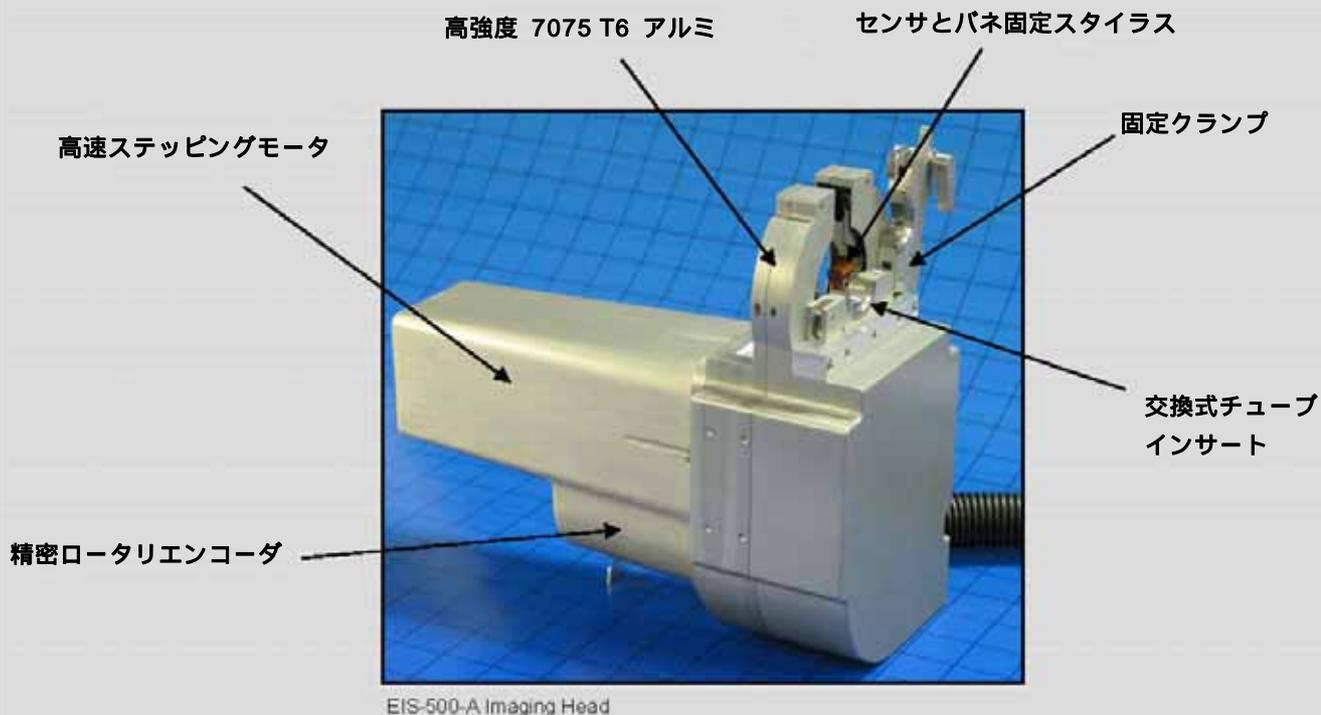


Step 5  
おおよそ4分程度でスキャンは完了し、その結果がモニターに表示されます。取得したイメージは種々の形式で表示することができます。例えば、大きい画面は C-Scan と言い、2次元で表示したもので、小さい画面は等角投影表示(isometric view)となります。

# EIS-500 Imaging Head Technical Information



Drawing shown with integrated fixture



# EIS-500 Imaging Head

## Ordering Information



Part Number	Description	備 考
EIS-500-A	Imaging Head, 3/16" to 5/8" Diameter Capability	イメージ スキャンヘッド、直径 3/16 "、5/8 " 対応
INS-5-3	Tube Insert for 3/16" Diameter	直径 3/16 " 対応チューブインサート
INS-5-4	Tube Insert for 1/4" Diameter	直径 1/4 " 対応チューブインサート
INS-5-6	Tube Insert for 3/8" Diameter	直径 3/8 " 対応チューブインサート
INS-5-8	Tube Insert for 1/2" Diameter	直径 3/2 " 対応チューブインサート
IES-5-PED	Pedestal	スキャンヘッド固定台座

ミリ仕様のチューブインサートなど特殊仕様も受けます

# EIS-3000 Imaging Head Exel Imaging System



EIS-300-A Imaging Head



EIS-CONT  
に接続

エクセル社とボーイング社は、エクセル社のイメージシステムが X 線またはリアルタイム X 線非破壊検査装置の不具合箇所検出信頼度と同様の信頼度を期待できるかどうか慎重に評価しました。この評価結果は 90/95 POD/CL Analysis としてまとめられています。このレポートは検出確率 90%、信頼水準 95%に沿って書かれています。これらの統計値は、米国空軍支給のソフトウェアで計算したものと、ボーイング社の統計専門家が算出したものの 2 つがあります。これらの結果は、EIS-300-A が少なくとも現在市場で使用されている X 線非破壊検査装置と同等の性能であることを示しています。このレポートの表紙を下に示します。レポートは弊社のウェブサイトからダウンロードできます。

この EIS-300-A イメージ スキャンヘッドは直径 3 1/2 ” までの部品に対応しています。EIS-500 同様オービタル溶接部の評価に使用されます。

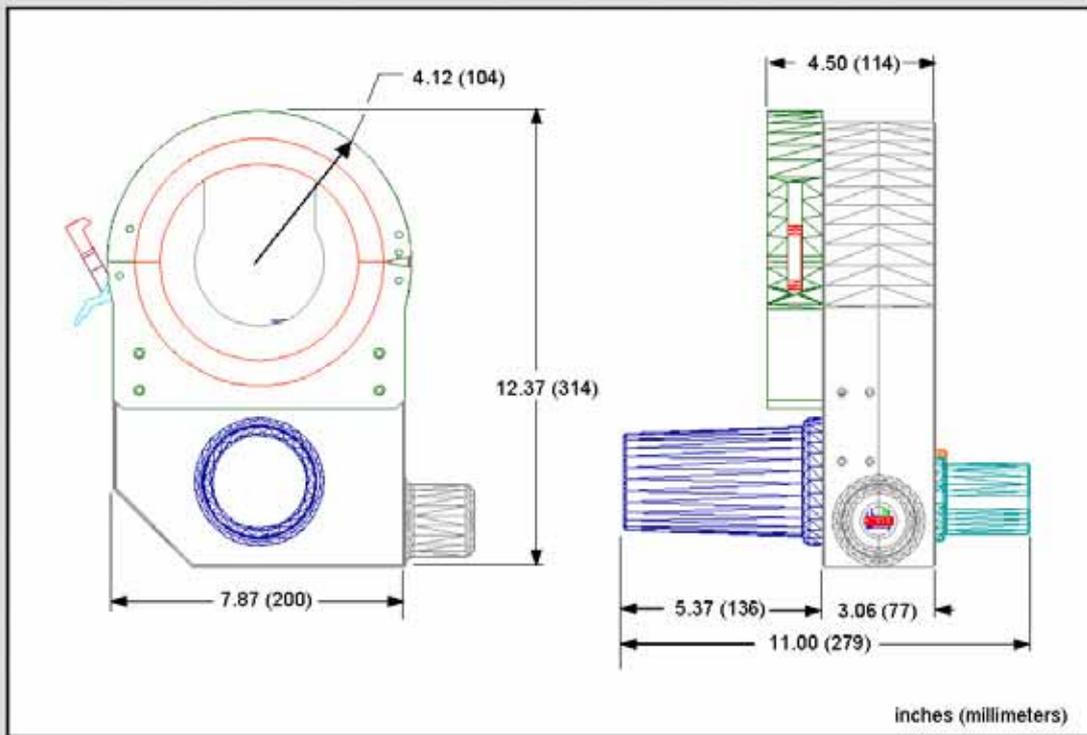
EIS-300-A は当初ボーイング RS-68 ロケットエンジン開発からの要求に基づき開発されました。このエンジンはデルタ 4 ロケットを宇宙空間に打ち上げるために開発されました。このエンジンに採用されたアドバンスド コンポジットノズル (Advanced all composite nozzles)方式はこのエンジンを世界最高出力エンジンに押し上げました。リーン生産方式 (Lean Manufacturing) を取り入れたいとするボーイング社の強い意志により、生産効率を落とさない現時点で最良の検査方式が考えられました。そこでボーイング社は、エンジンの高圧力燃料・酸化剤ラインにクラックや孔がないことを速やかに検証可能とする EIS-300-A の開発を弊社に依頼しました。ボーイング社の試算によると、RS-68 の燃料系に関する品質保証費用の 80% が EIS-300-A により削減できるであろうということです。



90/95 POD/CL Final Report

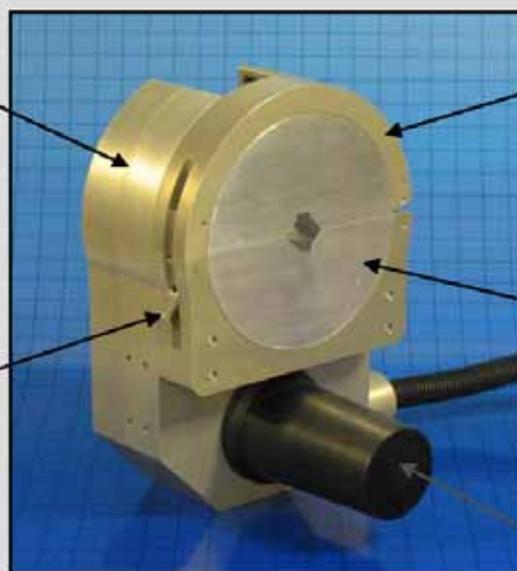
# EIS-3000 Imaging Head

## Technical Information



高強度 7075 T6  
アルミ ハウジング

カムバスト  
センターロック



クランプ

チューブインサート

高速ステッピングモータ

EIS-3000-A Imaging Head

# EIS-3000 Imaging Head

## Ordering Information



Part Number	Description	備 考
EIS-3000-A	Imaging Head, 1/2" to 3-1/2" Diameter Capability	イメージ スキャンヘッド、直径 1/2" ~ 3-1/2" 対応
INS-30-8	Tube Insert for 1/2" Diameter	直径 1/2" 対応チューブインサート
INS-30-12	Tube Insert for 3/4" Diameter	直径 3/4" 対応チューブインサート
INS-30-16	Tube Insert for 1" Diameter	直径 1" 対応チューブインサート
INS-30-24	Tube Insert for 1-1/2" Diameter	直径 1-1/2" 対応チューブインサート
INS-30-32	Tube Insert for 2" Diameter	直径 2" 対応チューブインサート
INS-30-40	Tube Insert for 2-1/2" Diameter	直径 2-1/2" 対応チューブインサート
INS-30-48	Tube Insert for 3" Diameter	直径 3" 対応チューブインサート
INS-30-56	Tube Insert for 3-1/2" Diameter	直径 3-1/2" 対応チューブインサート

ミリ仕様などインサートの特注も受けます。

# EIS-CONT Controller Hardware



EIS-CONT イメージシステム コントローラはイメージ スキャンヘッドでスキャンしたイメージデータを元に種々の解析を可能にするコントローラです。ユーザフレンドリなグラフィック インターフェイスが操作を簡単にしています。この小型でパワフルなコントローラは、スキャンヘッドの自己診断、スキャンイメージの保存など必要なことすべてをコントロールします。

コントローラの心臓部はラップトップ コンピュータで OS は Windows です。エクセル社は習熟するまでの時間があまり掛からない、多機能で使い易いソフトウェアを開発しました。イメージデータはコントローラ上で、または遠隔からネットワーク経由で保存することができます。このようにして保存されたイメージデータは、すでに保存されている任意の溶接部位のイメージデータと比較できるように追跡可能な形で保存されています。

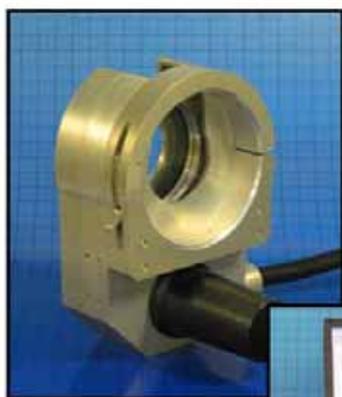
イメージのスキャンは簡単で高速です。低分解能のスキャンであれば3分以内に完了します。イメージシステムの操作を覚えるには短時間ですが特殊なトレーニングが必要です。もちろん、オービタル溶接の作業者が操作を覚えればリーン生産方式が実現できます。溶接機の至近で溶接箇所の評価をすれば、評価結果をリアルタイムで溶接にフィードバックして溶接を改善でき、たいへん有効です。



EIS-CONT Imaging System Controller

スキャン プロセス自体自己完結型であるように、イメージデータ解析は生産の流れを阻害するものではありません。いったんスキャンが開始されると、スキャン箇所の至近で他の溶接をすることができます。

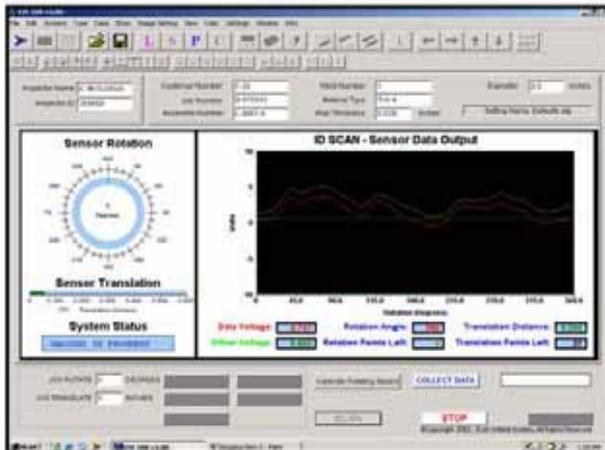
EIS-CONT イメージシステム コントローラは接続されるスキャンヘッドを選ばないので、複数のスキャンヘッドに対しコントローラは一台で済みます。標準のラップトップコンピュータを使用しているため、ネットワーク、ファイルの共有、印刷などが容易に行えます。



EIS-3000 Imaging Head



EIS-500 Imaging Head with Controller

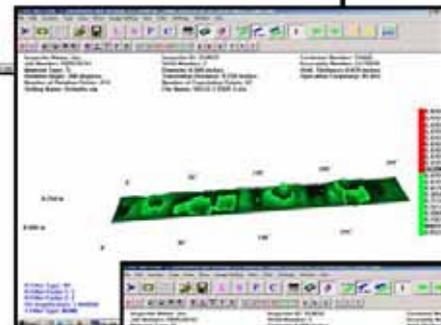


**Real Time Operating Screen**

イメージデータを取るときには、これに必要なすべてのデータが上に示すリアルタイム オペレーティング スクリーンに表示されます。画面中央にはイメージ生データはスキャン角度に関連して表示されます。同様にして回転に関連したイメージデータと送り位置に関連したイメージデータは、それぞれセンサ回転、送りウィンドウ(Sensor Rotation and Translation window)に表示されます。イメージデータはオペレータとスキャンした溶接部品に関するすべてのデータを入力することで容易に検索できます。



C-Scan



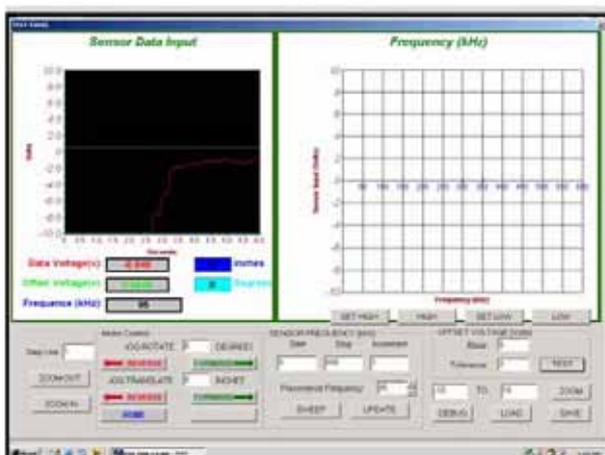
3D



Polar

### Three Viewing Modes

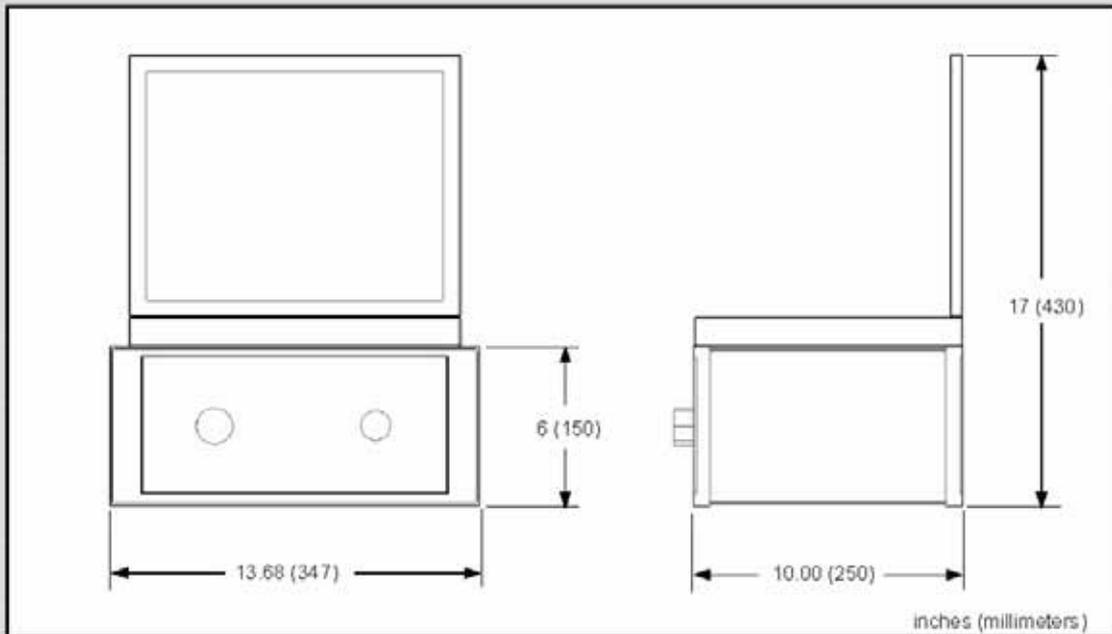
目視検査を容易にするため3種類の表示形式が用意されています。C-Scan は界面情報を2次元で表示したものです。3D は文字通り3次元表示で、ピーク値は欠陥の相対的な大きさを表します。Polar は極座標表示で、測定ツールに取り付けたそのままの形を見ることができ、欠陥の位置が分かり易いという利点があります。3D と Polar 表示ではマウスをドラッグして画像を回転できるという機能があります。もちろん画像のズームインも可能です。



**Sensor Diagnostic Screen**

センサの状態は上に示すセンサ診断スクリーンからいつでもチェックできます。このツールを使えばトラブルシュート、修理などが容易に行えます。

# EIS-CONT Technical Information



Drawing shown with integrated laptop

Windows 対応  
ソフトウェア

ラップトップコンピュータ

センサ  
コネクタ



EIS-CONT Controller Front View

モータ コネクタ



EIS-CONT Controller Back View

電源

85-265V 47-63Hz

# How It Works

## Eddy Current Detection



エディカレント(渦電流)はファラディ(Michael Faraday)が電磁誘導の研究中に発見した現象です。



Michael Faraday 1791-1867

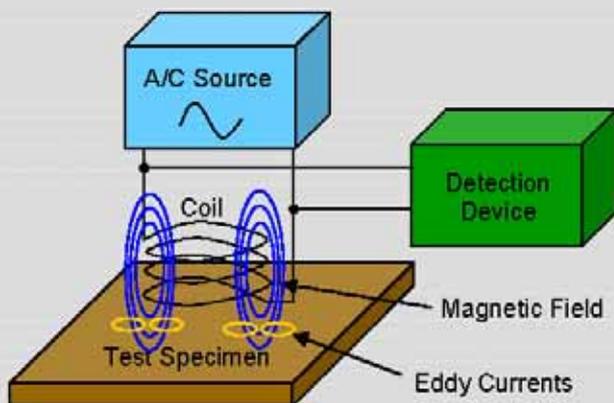
この発見から少しして、導電率と透磁率の重要性が発見されました。この発見が今日我々が使用しているエディカレントを利用した検査システムの具現化を可能にしました。このシステムでは、材料中のクラックから化学的組成や金属の冶金学的状態の微

細な変化を検出することができます。

エディカレント検査システムは以下の4つの基本要素で構成されています。

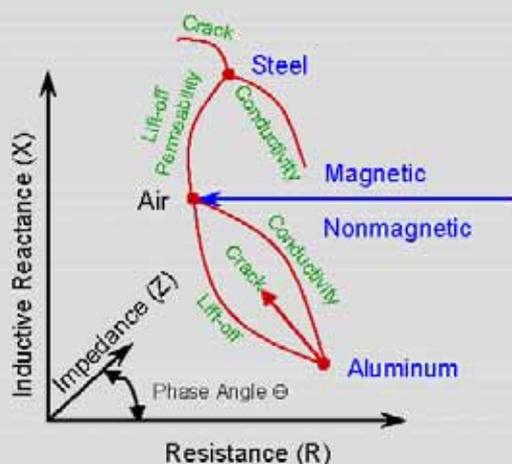
1. 交流電源(A/C Source)
2. コイル(Coil)
3. 試料(Test Specimen)
4. 検出装置(Detection Device)

コイルは交流電源で駆動されます。コイルは駆動される交流電源に一致した交番電磁界を作り出します。コイルが作り出す磁界は試料にまで入り込み、試料も電気回路の一部となります。



この電磁界は、試料の中に磁界に直交するエディカレントと呼ばれる電流を生じさせます。試料の性質が変わると、電流も変化します。この回路上の変化が検出装置で数量化されます。この装置は電圧計のように簡単に構成できますし、またはインピーダンスメータのように複雑にもできます。

インピーダンスメータは下図に示されるように、X、Y軸2つのインピーダンス構成要素を測定します。X軸は実軸で回路の抵抗で、Y軸は虚軸でコイルのリアクタンスです。図の赤で示すように試料の状態によってインピーダンスZは変化します。例えば、試料がアルミニウムでは、試料とコイル間の距離が減少するに従い、リアクタンスは増加するのに対し抵抗は減少します。また、試料が鉄では、コイルと試料間の距離が減少すると、リアクタンスと抵抗の両方が増加します。試料にクラックがあるとそれぞれの金属特有のインピーダンスパターンを描きます。このパターンはコイルと試料間の距離変化に対するパターンとは異なることが一目瞭然です。このようなパターンをリサージュパターンと言います。



# How It Works

## Eddy Current Testing



エディカレント非破壊検査装置は、飛行機や宇宙衛星から原子力プラントや造船など多くの産業で実際に使用されています。これらの産業では金属材料の品質や部品品質の保証をする必要性から使用しているのが現状です。エディカレント非破壊検査装置は、その柔軟性、可搬性そして有効性から製品の生産およびメンテナンスの両方で使用されています。

エディカレント非破壊検査装置は、ストレスが原因で生じたクラックから、冶金学的変化まですべてに対応することができます。しかしながら、この装置には限界があることも確かです。この限界は、インピーダンス平面の本質に関わるものと、複数の変数が同時に変化する試料は測定不可能であるということの両方に起因しています。この限界を持つとされてきたものの一つが溶接部でした。

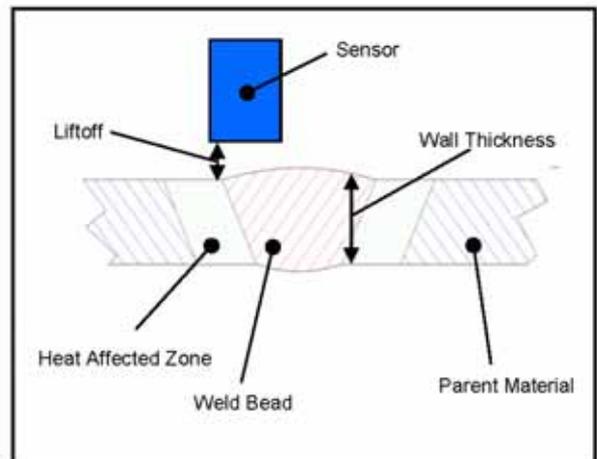


Photo of Boeing 737's being assembled



Photo of the core of a nuclear reactor

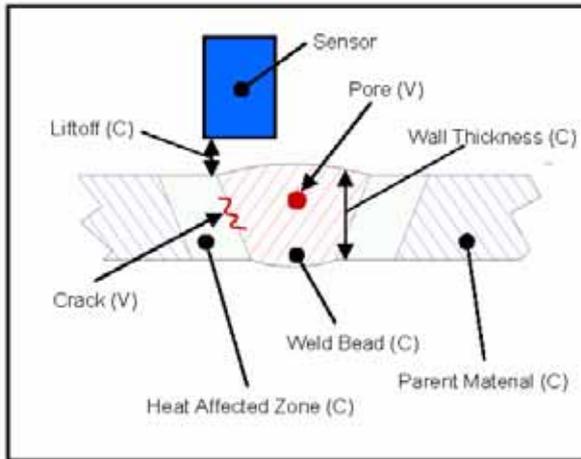
前ページに示される従来のインピーダンス平面から分かるように、試料に関連したデータ、試料とコイル間の距離、導電率、クラックの有無、そして位相角などすべてが同時に変化しています。従って、溶接のようにすべての変数が一瞬にして変わったときに、注目している一つの変数のみを取り出すことは殆ど不可能です。下図は、センサが溶接部位に向かって移動するとき、複数の変数が同時に変わる様子を図示したものです。図に示す総ての条件がインピーダンス平面の変化をもたらし、この結果不具合を発見することはできません。



Components of a Weld

# How It Works

## The Exel Imaging System



Variables and Constants of a weld

エクセル社のイメージシステムでは、エクセル社が開発したアルゴリズムで任意の変数を一定に固定することができ、このため複雑な変数を持つ試料を測定できます。左図を使ってエクセル社の検出方法を説明します。例えば、溶接部位のクラックまたは孔の有無を検出することを考えます。このようにクラックまたは孔を検出するためには、図中Cで示される、試料とセンサ間の距離、試料厚、材質のエディカレントに対する影響を一定に固定する必要があります。この例では、このようにして孔とクラックによる影響のみを抽出することができます。溶接のような複雑な変数を持つものの測定がこの画期的な技術によって測定可能となります。

# How It Works System Validation



エクセル社は開発したイメージシステムの自動溶接における溶接部の不具合検出の信頼性を詳細に注意深く解析して参りました。この解析の2例を以下に掲げます。最初の例は、フィッティング コネクションをオービタル溶接したチタン製の油圧配管です。この配管のX線撮像イメージは数個の連続した細孔または細孔のかたまりがあることを示しています。右に示すのはエクセル社のイメージングシステムで捉えた同じ部位のイメージで、X線撮像イメージと明確な相関があることが見てとれます。

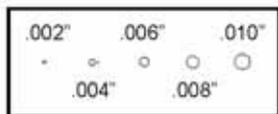
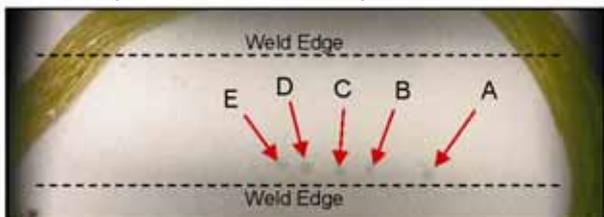


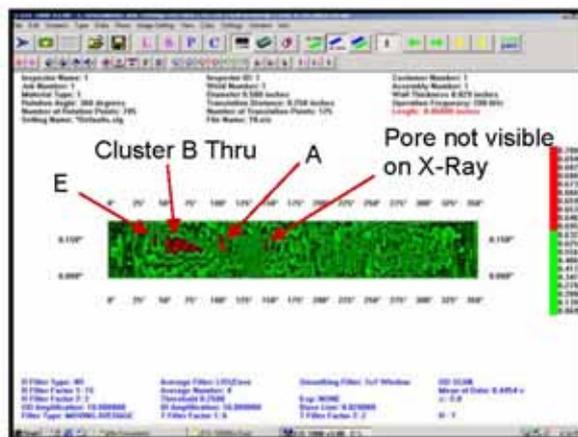
Photo of Hydraulic Line

X-ray Pore Diameter Scale



X-ray of Hydraulic Line Showing Porosity

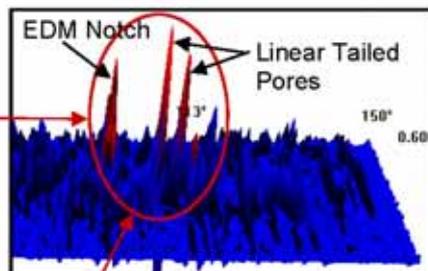
次は、このページ後半に示す直径3インチのインコネル625材をオービタル溶接した燃料配管の解析例です。エクセル社のイメージ システムが捉えたイメージでは EDM ノッチとその他の不具合が捉えられていることが見て取れますが、X線撮像イメージではノッチは確認できますが不具合部は確認できません。エクセル社のイメージ システムでさらに観測したところ、この不具合は直線的な尾を引いた細孔であることが分かりました。この例のように、X線撮像ではこのような亀裂は見えないこととご覧頂けると幸いです。



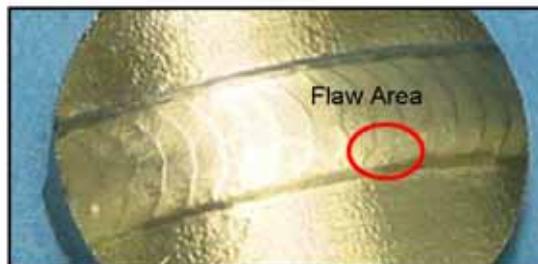
Exel Imaging System Image of Titanium Hydraulic Line Weld



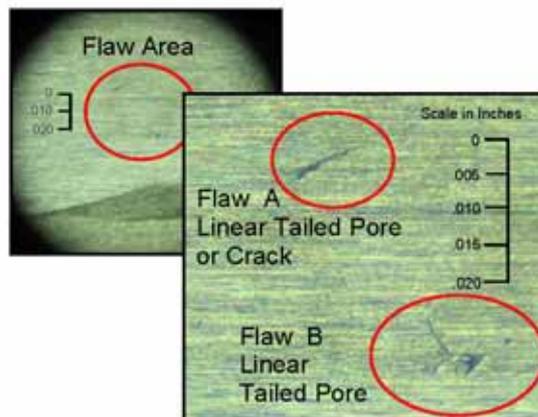
Photo of Fuel Line



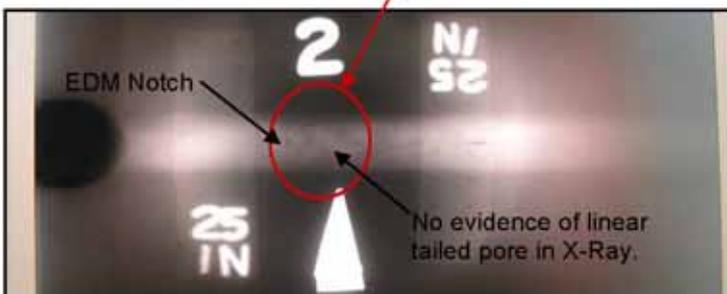
Exel Imaging System Isometric View



Flaw Area Cut Out



Flaw Area After Grinding



X-ray of Fuel Line Weld

# Requirements

## Material Properties and Flaw Detection



### 適用材料

1. ステンレス
  - a. S316L
  - b. 304L
2. チタン
  - a. 6-4
  - b. 3-2.5
3. インコネル(Inconel)
  - a. 625
  - b. 718
4. グラファイト複合材
  - a. IM7/977
  - b. IM7/977 (低反射素材)
  - c. MMS 5024

### 適用形状または不具合

金属に対して (オビタル イメージヘッド 使用)

1. 細孔
2. 細孔群 (細孔の集団)
3. 尾を引いた細孔
4. 異物 (母材に混入した)
5. 亀裂
6. 融接忘れ
7. サックバック (Suck Back)
8. 放電加工機で付いた傷
9. スルーホール (貫通孔) 不可視孔

グラファイト複合材に対し (リア イメージシステム使用)

1. 剥がれ
2. 空隙
3. テフロンディスク (Teflon Disks)

上に掲げる材料と検知可能な不具合のリストは、実験ですでに確かめられたもののリストです。従いまして、このリストに記載されていない材料および不具合には適用できないということではありません。評価したい材料、不具合などをお持ちのお客様が御座いましたら是非ご相談ください。サンプルを頂ければ早急にスキャンイメージをお届けします。

# Current Programs

## Exel Imaging Systems In Use



エクセル社のイメージシステムは目下以下のお客様で実際に使われています。



RS-68 Rocket Engine Test

ボーイング社

RS-68 ロケットエンジンで使用

625 インコネル材、直径 1.25 ~ 3.5 インチ、チューブ壁厚 0.1 インチ

EIS-3000 を使用



F-18 Fighter

ボーイング社

F18 戦闘機で使用

6-4 チタン材、直径 1/4 ~ 1/2 インチ、チューブ壁厚 0.028 インチ

EIS-500 を使用



THAAD Missile Test

ボーイング社

戦域高々度地域防衛 (THAAD)で使用

3-2.5 チタン材、直径 1/4 ~ 5/8 インチ、チューブ壁厚 0.028 インチ

EIS-500 を使用



F-35 Fighter

グラマン社

F35 戦闘機で使用

グラファイト複合材

広大表面検査用に改造したイメージシステムを使用



Delta 4 Rocket Launch

ボーイング社

デルタ4ロケットで使用

インコネル 625 材、直径 1/4 ~ 1/2 インチ

EIS-500 を使用