

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子部品・デバイスの内部欠陥をその場で非接触
探傷できる革新的レーザ超音波検査装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成26年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社つくば研究支援センター

(目次)

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-1-1 研究背景	3
1-1-2 研究目的及び目標	4
1-2 研究体制	5
1-2-1 研究組織（全体）	5
1-2-2 管理体制	5
1-2-3 管理員及び研究員	6
1-2-4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	7
1-2-5 他からの指導・協力者	8
1-3 成果概要	9
1-4 当該研究開発の連絡窓	9
第2章 本論	10
2-1 高感度・高分解能な非接触検査システムの構築	10
2-1-1 コンパクトなレーザ超音波可視化検査装置（レーザ超音波スコープ）の試作	10
2-1-2 欠陥検出性能の向上	12
2-2 高速計測・制御ソフトウェアの開発	13
2-2-1 ソフトウェアの簡素化・操作性の向上	13
2-2-2 高速検査性能	17
2-2-3 計測条件自動設定機能	17
2-2-4 検査報告書作成機能	19
2-2-5 検査体写真スーパーインポーズ機能	19
2-3 欠陥を自動検知できる画像解析ソフトウェアの開発	21
2-3-1	21
2-3-2	21
2-3-3	23
2-3 検査条件を自動設定するためのデータベースの作成	24
2-3-1 最適検査条件によるサンプル試験データの蓄積	24
2-3-2 計測データベース検索・閲覧ソフトの作成	25
第3章 総括	27

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究背景

情報通信機器の小型化・高密度集積化にともない、電子部品・デバイスに内在する欠陥形状の許容大きさが年々微小化の傾向を示しているが、従来の非破壊検査装置では小型部品に内在する微細な形状欠陥をその場で効率的に検査することは困難であり、製品の信頼性保証、品質向上を図る上で大きな課題となっている。超音波 C スキャン装置に代表される現行の検査装置が抱えている具体的な課題は下記のとおりである。

- 1) その場検査が難しい（装置が大型で、かつ、水浸する必要がある）。
- 2) 曲面部や段差部、狭隘部、3次元積層部など、複雑形状部の検査が難しい（欠陥エコーが返ってこない）。
- 3) 機械ステージ走査なので検査に時間がかかる。
- 4) 1mm以下の微細な形状欠陥の検出性能が悪い。
- 5) 測定された信号波形や静止画像から欠陥を判定するのに専門性を要する。
- 6) 装置の操作が複雑。

このため、小型で任意構造の電子部品に内在する微細な形状欠陥をその場で迅速・簡便、かつ、高精度に検査できる新技術の開発が求められている。


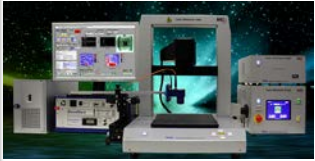


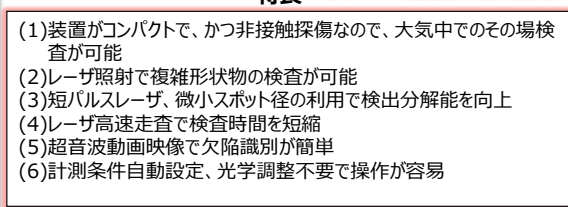
[従来技術]	課題	[新技術]	装置のシステム構成
 超音波Cスキャン装置	<ul style="list-style-type: none">(1) その場検査ができない（要・水浸）(2) 平面物体以外の検査は難しい(3) 検出分解能が低い(4) 検査に時間がかかる(5) 静止画からの欠陥の判定に専門性が必要(6) 操作が複雑（計測条件の設定に時間を要す）	 レーザ超音波検査装置	 装置のシステム構成
 X線検査装置	<ul style="list-style-type: none">(1) 装置が大型でその場検査ができない(2) き裂のように閉じた欠陥の検出は難しい(3) 検査に時間がかかる	 特長 <ul style="list-style-type: none">(1) 装置がコンパクトで、かつ非接触探傷なので、大気中でのその場検査が可能(2) レーザ照射で複雑形状物の検査が可能(3) 短パルスレーザ、微小スポット径の利用で検出分解能を向上(4) レーザ高速走査で検査時間を短縮(5) 超音波動画映像で欠陥識別が簡単(6) 計測条件自動設定、光学調整不要で操作が容易	

図 1.1 従来技術と新技術の比較

1-1-2 研究目的及び目標

本事業では、電子部品・デバイス等に内在する異物やボイド、界面接着不良などをその場で効率的に検査できる革新的レーザ超音波検査装置を開発し、製品・部品の大幅な信頼性向上を図る。従来の超音波 C スキャン装置と比較した場合の高度化目標を以下に列記する（図 1.1）。

- 1) 大気中での、その場・非接触検査を可能とする。
- 2) 3次元任意形状部品の検査を可能とする。
- 3) 検査時間を 1/10 以下にする。
- 4) 欠陥検出分解能を 1 桁以上向上させる（本事業終了時 10 μ m）。
- 5) 動画映像を視ながら欠陥エコーを自動検出できる分かりやすい検査法を開発する。
- 6) 計測条件を自動設定できる操作性の良い装置を開発する。

本事業における、技術的目標値は下記のとおりである。

① 高感度・高分解能な非接触検査システムの構築

- コンパクトな検査装置（現行超音波Cスキャン装置の1/2 以下のサイズ：本体、受信器、PC、いずれも、大きさ 50cm³以下・重さ 10kg以下）を開発する。
- 10 ミクロンの検出性能（現行超音波Cスキャン装置よりも 1 桁～2 桁向上）を達成する。

② 高速計測・制御ソフトウェアの開発

- 20 mm×30 mmの検査面積（半導体パッケージの標準的サイズ）を60 秒以下で測定できる高速検査性能（現行超音波Cスキャン装置の 1/10 以下）を達成する。
- レーザ走査条件、超音波計測条件を自動設定できる機能を付与し、1 分以内に計測条件を設定できる装置を開発する（専門のオペレータ不要）。
- 検査報告書を 10 秒以内で自動作成する機能や、超音波映像とその映像に対応した光学写真をスーパーインポーズさせて対比できる機能を付与する。

③ 欠陥を自動検知できる画像解析ソフトウェアの開発

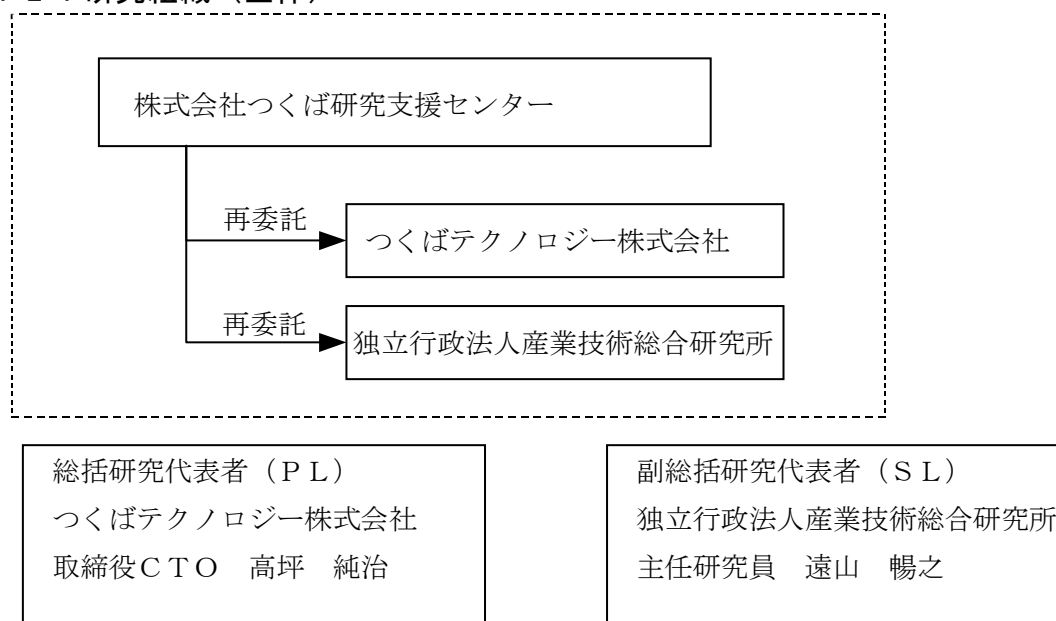
- 欠陥エコーを逆流解析して3次元複雑形状試験体の欠陥位置を 1mm以下の誤差で標定する機能を付与する。
- 伝搬画像・時間解析により、欠陥を1mm以下の精度でサイジングできる機能を付与する。
- 欠陥を自動認識できる機能を付与する。

④ 検査条件を自動設定するためのデータベースの作成

- 欠陥検査計測条件データベースを作成し、計測条件自動設定機能へ反映させる。

1-2 研究体制

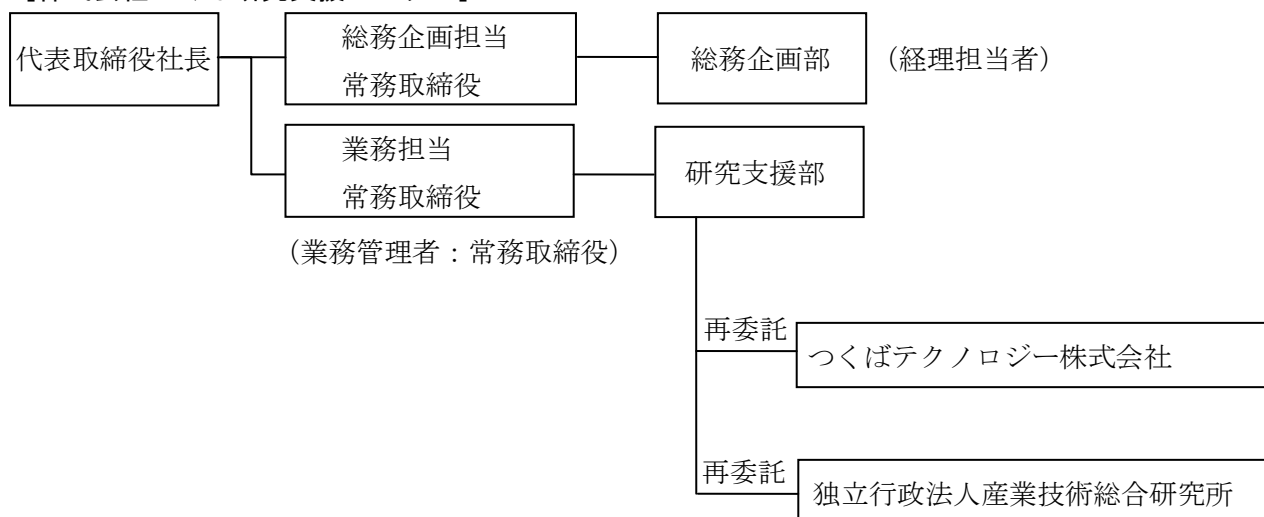
1-2-1 研究組織（全体）



1-2-2 管理体制

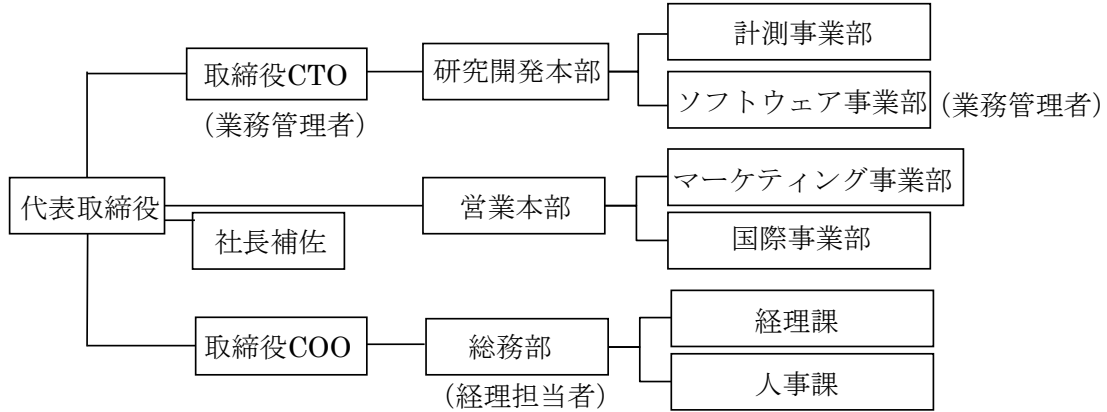
<事業管理機関>

[株式会社つくば研究支援センター]

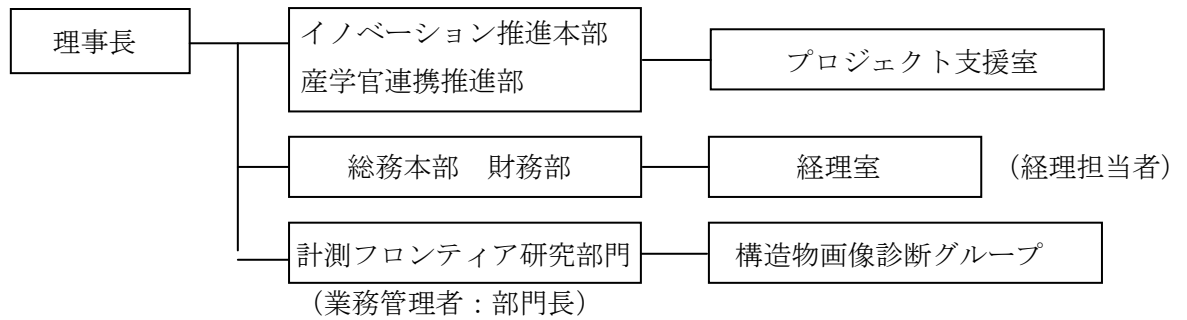


<再委託先>

[つくばテクノロジー株式会社]



[独立行政法人産業技術総合研究所]



1-2-3 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社つくば研究支援センター

(管理員)

※丸数字番号は 1-3 節参照

氏名	所属・役職
高田 青史	研究支援部 次長
窪田 真美	研究支援部
永岩 良教	研究支援部

【再委託先】

(研究員)

つくばテクノロジー株式会社

氏名	所属・役職
高坪 純治	取締役 CTO
王 波	代表取締役社長
劉 小軍	取締役 COO
梶 克廣	社長補佐
松岡 一夫	マーケティング事業部 部長
鈴木 修一	計測事業部 部長
齊藤 典生	主任研究員
于 大選	主任研究員
楊 姍姍	総務部係長

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職
遠山 暢之	計測フロンティア研究部門 主任研究員
宮内 秀和	計測フロンティア研究部門 主任研究員
山本 哲也	計測フロンティア研究部門 主任研究員
津田 浩	計測フロンティア研究部門 研究グループ長

1-2-4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

<事業管理機関>

[株式会社つくば研究支援センター]

(経理担当者) 総務企画部 課長 沼田 きみ江

(業務管理者) 常務取締役 一條 久夫

<再委託先>

[つくばテクノロジー株式会社]

(経理担当者) 取締役 COO 劉 小軍

(業務管理者) 取締役社長 王 波

取締役 CTO 高坪 純治

[独立行政法人産業技術総合研究所]

(経理担当者) 総務本部 財務部 経理室長 山口 洋二

(業務管理者) 計測フロンティア研究部門 部門長 山内 幸彦

1-2-5 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
高坪 純治	つくばテクノロジー株式会社 取締役 CTO	委 PL
遠山 暢之	独立行政法人産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門 主任研究員	委 SL
王 波	つくばテクノロジー株式会社 代表取締役社長	委
宮内 秀和	独立行政法人産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門 主任研究員	委
川嶋 紘一郎	有限会社超音波材料診断研究所 所長 国立大学法人名古屋工業大学 名誉教授	アドバイザー
西野 秀郎	国立大学法人徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 教授	アドバイザー
青柳 昌宏	独立行政法人産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 副研究部門長	アドバイザー
田近 英之	パナソニック株式会社 生産革新本部 生産技術研究所 計測・検査技術開発グループ	アドバイザー
阪口 善樹	サムテック株式会社 代表取締役社長	アドバイザー
深澤 真一郎	株式会社日立パワーソリューションズ プラント本部 プラント設計部 担当部長	アドバイザー
松井 穰	JFEスチール株式会社 スチール研究所 計測制御研究部 主任研究員	アドバイザー
刀根 明彦	轟産業株式会社 東京本社	アドバイザー
一條 久夫	株式会社つくば研究支援センター 常務取締役	
高田 青史	株式会社つくば研究支援センター 研究支援部 次長	
窪田 真美	株式会社つくば研究支援センター 研究支援部	
永岩 良教	株式会社つくば研究支援センター 研究支援部	

1-3 成果概要

- ① 高感度・高分解能な非接触検査システムの構築
 - 現行超音波Cスキャン装置の 1/2 以下のサイズ（目標値 1/2）の筐体を製作し、レーザー超音波スコープ（製品名）を試作した。
 - 20 ミクロンの欠陥検出性能（目標値 10 ミクロン）を実現した。
- ② 高速計測・制御ソフトウェアの開発
 - 20 mm×30 mmの検査面積を 10 秒で測定できる高速検査性能（目標値 60 秒）を達成した。
 - レーザー走査条件、超音波計測条件を自動設定できる機能を付与し、30 秒で計測条件を設定（目標値 60 秒）できる装置を開発した。
 - 検査報告書を 5 秒で自動作成（目標値 10 秒）する機能や、検査体写真を超音波映像にスーパーインポーズしてリアリティのある映像を表示できる機能を付与した。
- ③ 欠陥を自動検知できる画像解析ソフトウェアの開発
 - 超音波逆流解析法を利用した位置標定ソフトを完成させ、欠陥位置標定誤差 1mm 以下（目標値 1mm）達成した。
 - 高周波超音波伝搬映像の最大振幅画像を用いたサイジング手法を開発し、誤差 10% 以下（目標値 1mm）のサイジングを達成した。
 - 超音波伝搬映像の 2 次元FFT画像をフレーム間で相関解析して欠陥エコーの有無を 自動検知するアルゴリズムを開発した。
- ④ 検査条件を自動設定するためのデータベースの作成
 - 最適検査条件（レーザー走査速度・走査ピッチ、超音波送受信の位置、超音波周波数、信号計測サンプルレート等）で測定したサンプル試験データを蓄積し、それらの計測データを簡単に検索・閲覧でき、かつ、計測条件を自動読み込みできるソフトウェアを開発した。

1-4 当該研究開発の連絡窓

（フリガナ）：タカタ セイシ
氏 名：高田 青史
所属組織名：株式会社つくば研究支援センター
所属役職：研究支援部 次長
Tel：029-858-6000
Fax：029-858-6014
E-mail：tci-is@tsukuba-tci.co.jp

第2章 本論

2-1 高感度・高分解能な非接触検査システムの構築

2-1-1 コンパクトなレーザ超音波可視化検査装置（レーザ超音波スコープ）の試作

完成したレーザ超音波スコープの写真を図 2.1 に示す。検査手順は以下の通りである。

- (1) 検査テーブルの上に検査サンプルを置く。
- (2) 電動ステージを前後左右に動かしてサンプルを位置決めする。
- (3) 受信用のレーザプローブまたは超音波探触子をセッティングする。
- (4) ガイド光を用いて超音波励起用レーザの査枠を設定する。
- (5) 励起用レーザを照射しながら超音波信号を受信し、超音波計測条件を設定する。
- (6) ウェブカメラ写真を撮影する。
- (7) レーザを走査して超音波伝搬映像を計測する。
- (8) 計測映像を PC モニターに表示する。
- (9) 映像を解析して欠陥を検出・評価する。



図 2.1 開発したレーザ超音波可視化検査装置（レーザ超音波スコープ）

レーザ超音波スコープの主な仕様は下記のとおりである。

【励起用レーザ】

- 波長：1064nm (YAG)
- 最大出力：2mJ
- 繰り返し周波数：最大 2000Hz
- パルス幅：2ns

- ビーム径 : 0.5mm

【受信レーザ】

- 波長 : 532nm
- 最小検出変位 : $10^{-5}\text{nm}/(\text{Hz})^{1/2}$
- 周波数帯域 : 20MHz
- スポット径 : $60\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$ ($f=50\text{mm}\sim 500\text{mm}$)

【ガルバノスキャナ】

- 回転視野角 : 2軸 $50^\circ \pm 5^\circ$
- 分解能 : 上記視野角を 65,000 分割

なお、図 2.1 に示したレーザ超音波スコープでは、試験体からレーザヘッドまでの距離や、試験体のサイズに制限があるので、試験体までの距離を長くとりたい場合や、試験体のサイズが大きい場合には、図 2.2 に示すように、レーザヘッドを三脚の上に載せてレーザ走査することも可能である。

以上、現行超音波Cスキャン装置の1/2 以下のサイズのレーザ超音波スコープを製作した。



図 2.2 レーザヘッドを三脚に搭載した場合の使用例

2-1-2 欠陥検出性能の向上

微細欠陥の超音波エコーは非常に微弱であるため、進行波の中に埋もれてしまうだけでなく、場合によってはバックグラウンドノイズの中に埋もれてしまい全く検出できない場合もある。このような微弱な欠陥エコーを検出するために、次の対策を行った。

- (1) 電気計測系の接栓（アース：アンプ、センサ、A/D ボード、レーザ）による電気ノイズの低減
- (2) プリアンプ供給電源にリチウムイオンバッテリーを採用することによる電磁ノイズの低減
- (3) 高周波計測系（15MHz）の構築による欠陥検出空間分解能の向上
- (4) 周波数フィルタの採用による低周波機械雑音及び高周波電気ノイズの低減
- (5) 平均化計測機能の追加によるバックグラウンドノイズの低減

これらの対策により、欠陥検出分解能を向上させることができた。

欠陥検出性能を検証するために、図 2.3 に示すような炭素鋼試験片を用いて、欠陥エコーの可視化試験を行った。試験片寸法は 100mm×100mm×板厚 0.2mm であり、裏面に直径が 20 ミクロンと 40 ミクロンで深さが 100 ミクロンの欠陥を導入している。炭素鋼（S45C）を選んだのは最も欠陥を導入しやすい材料だったからである。

前述の対策を施したうえで、さらにバンドパスフィルタを利用して測定した可視化映像を図 2.4 に示す。超音波探触子には周波数 15MHz の斜角 90° 探触子を使用し、波形受信時には 5 回の平均化処理を行っている。また、可視化映像には進行波除去処理を行っている。バンドパスフィルタに中心周波数 5MHz、7.5MHz、10MHz のものを使用したが、図 2.4 から分かるように 10MHz の場合にかかなり鮮明な欠陥エコーが映像化されている。

10 ミクロンサイズの欠陥については試験片の製作が困難であったため、検証試験を行うことができなかったが、20 ミクロンサイズの欠陥エコーを可視化できることを確認した。

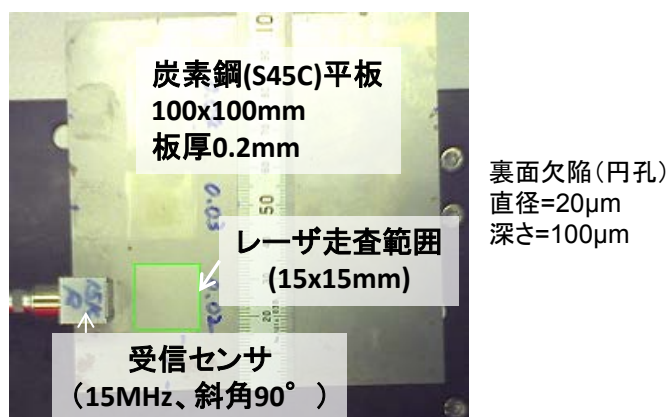


図 2.3 裏面に微細欠陥を導入した炭素鋼試験片

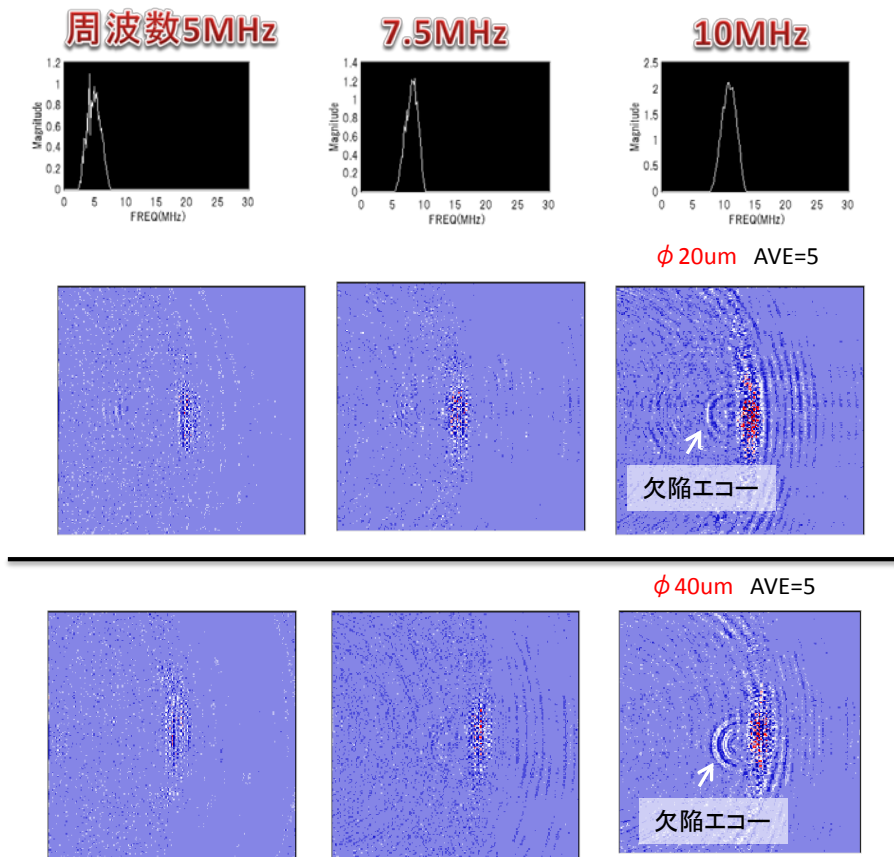


図 2.4 20 ミクロンサイズおよび 40 ミクロンサイズの裏面欠陥からのエコーの可視化

2-2 高速計測・制御ソフトウェアの開発

2-2-1 ソフトウェアの簡素化・操作性の向上

一般に、超音波計測やレーザ計測においては多くの計測パラメータを適正に設定しなければならず、専門家でなければ操作が難しい。そこで、下記の点を考慮しながら操作の簡素化と操作性の向上を図った。

- 一つの画面で全ての操作を行うのではなく、タブ制御器を利用した機能ごとの画面表示にする。
- 基本操作ボタンを黄色ボタンにし、1つの画面で5個程度とする。あまり使わない操作ボタンは隠しボタンとし、画面に表示しない。
- 計測条件の設定で自動化できるものは自動設定にする。
- 解析画面においてもできるだけ自動解析できるようにする。

図 2.5 に、レーザ超音波可視化検査装置のソフトウェア構成図を示す。メイン画面（図 2.6）からは(1)～(5)までの計測・制御用のソフトウェア画面と(6)、(7)の映像表示・解析画面および(8)の検索閲覧画面を呼び出せるようにしている。計測条件の設定は、[(1)計

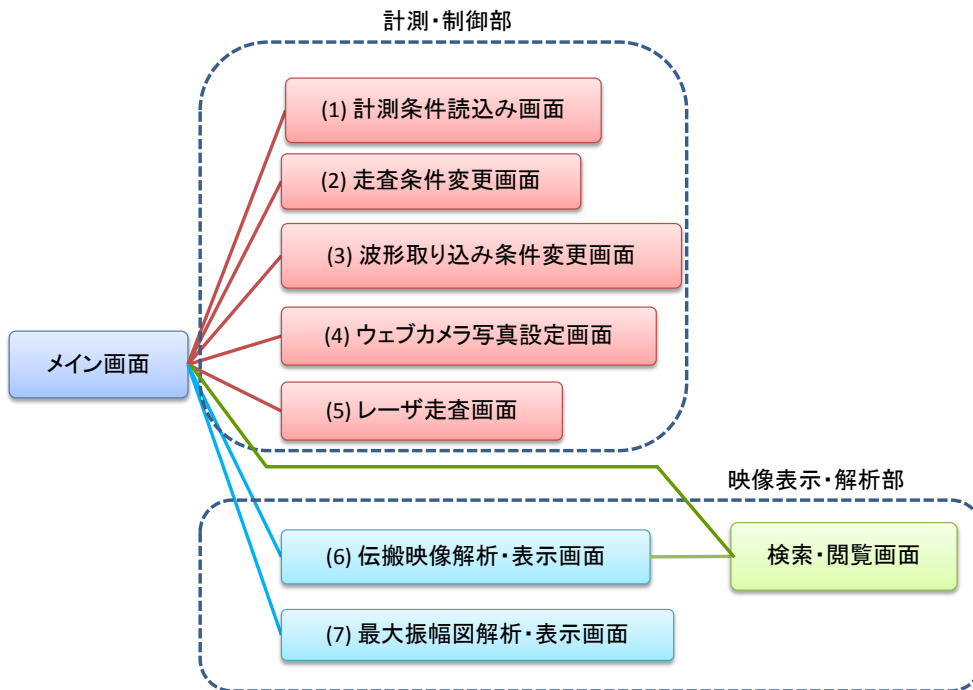


図 2.5 レーザ超音波可視化検査装置ソフトウェアの構成図



図 2.6 レーザ超音波検査装置ソフトウェアのメイン画面

測条件の設定は、[(1)計測条件の読み込み]→[(2)走査条件変更]→[(3)波形取込条件変更]→[(4)Camera]→[(5)Laser Scan]の順に行う。それらのソフトウェア画面を図 2.7 に示す。計測終了後、メイン画面上の動画ボタンあるいは最大振幅画像ボタンを押して測定結果を表示・解析する。

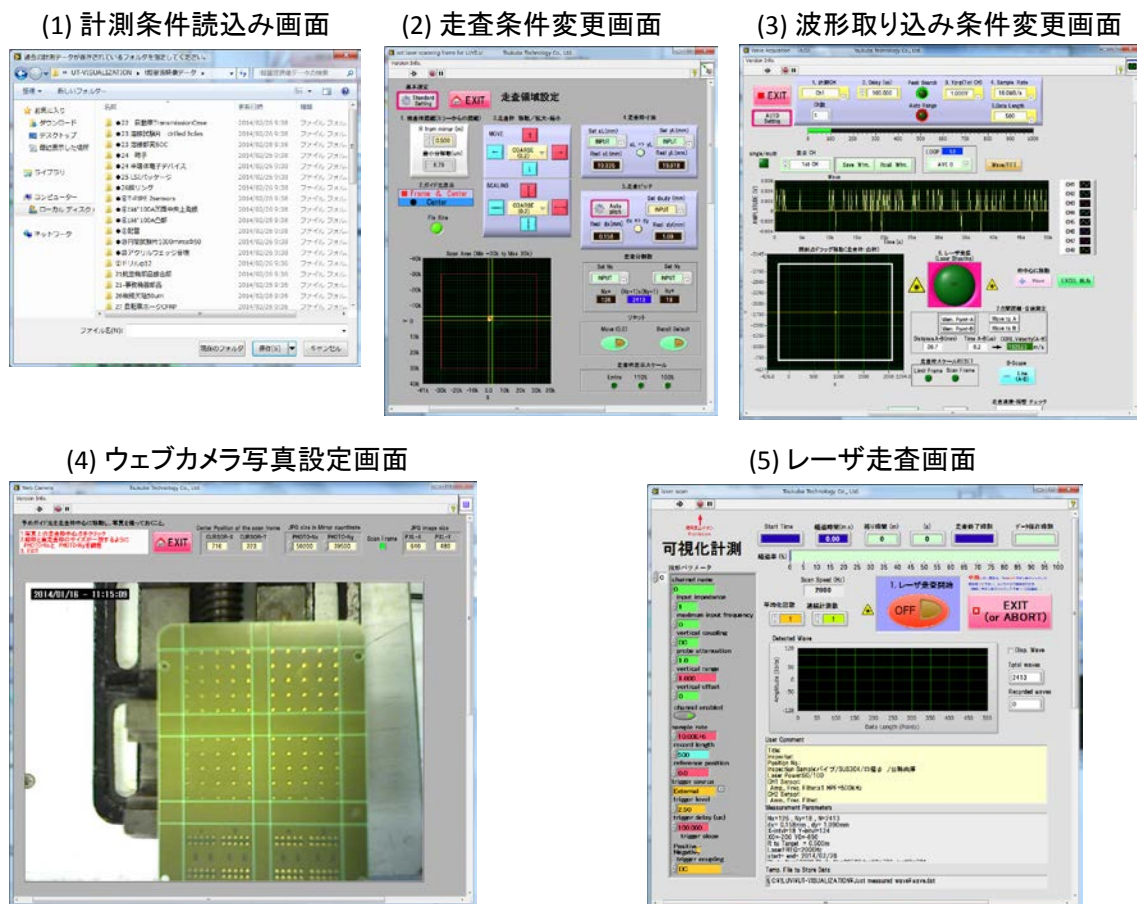


図 2.7 計測・制御ソフトウェア画面

(6)の伝搬映像解析画面を、簡素化前と簡素化後の新旧画面で比較して図 2.8 に示す。旧画面では、一つの画面内に多くの機能を詰め込んだため、ボタンや画面が多く、初心者には取扱いの難しい画面であった。そこで、タブ制御器機能を利用して、必要な画面、ボタンを必要な時だけ表示するように整理した。例えば、図 2.8 におけるタブ制御器-1 は、図 2.9 に示す 6 つのサブ画面で構成され、Sub 画像画面では最大振幅図や B スコープ（速度線図）を表示し、また、波形画面では受信波形とその周波数スペクトルを、Photo 画面では試験体のウェブカメラ写真を、Comment 画面ではユーザコメントと計測条件パラメータを、3-D 画面では超音波伝搬画像あるいは最大振幅画像の 3D 画像を、そして、User Fig 画面ではユーザが作成した JPG 画像を自動表示できるようにしている。

以上、専門家でなくとも検査できるような使い勝手の良い計測・解析ソフトを開発した。

ソフトウェアの簡素化

映像解析・表示画面(旧)

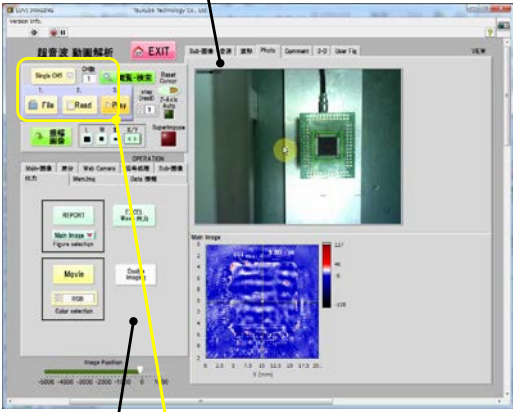


- タブ制御器を利用して、機能ごとの画面表示とした。
- 使用頻度の低い操作ボタンを整理した。
- ボタンデザイン・レイアウトを変更して見やすい画面とした。



タブ制御器-1

映像解析・表示画面例(新)



基本的に黄色ボタンだけで操作可能

タブ制御器-2

操作ボタンを整理し、見やすい画面にした

図 2.8 新旧 伝搬映像解析・表示画面の比較

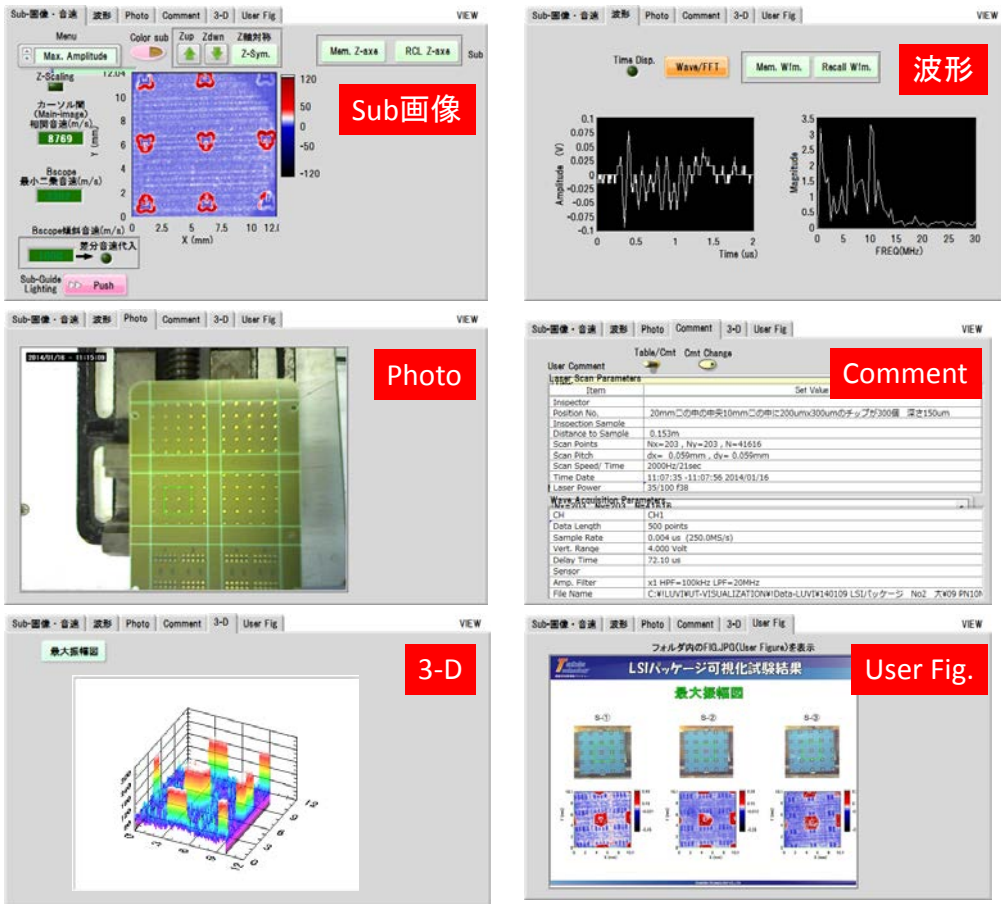


図 2.9 伝搬映像解析・表示画面におけるタブ制御器-1のサブ画面

2-2-2 高速検査性能

100×200mm板厚 5mmのアルミ平板に 0.5mmサイズの立方状欠陥を導入した試験片を用いて可視化試験を行い、20mm×30mmの検査範囲を 10 秒のレーザ走査（走査間隔 0.2mm、走査周波数 1,500Hz）で図 2.10 に示すような欠陥エコー映像を計測できることを確認した。技術目標値 60 秒に対して 10 秒と大幅な高速性能を達成した。

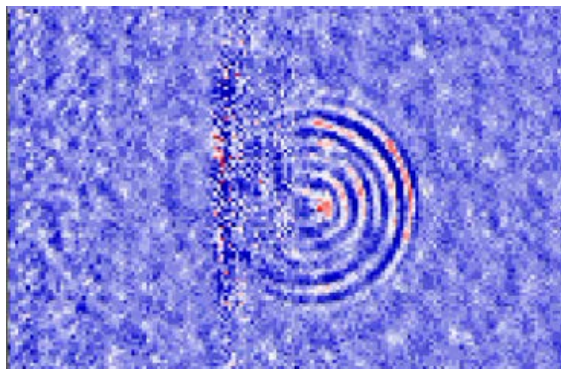


図 2.10 10 秒で可視化計測した 0.5mm サイズの欠陥エコー映像

2-2-3 計測条件自動設定機能

また、当該装置を用いて初めて検査をする人は、超音波計測条件やレーザ計測条件をどのように設定したらよいのか戸惑うことが少なくない。そこで、ソフトウェアを簡素化するだけでなく、計測・解析における自動化も推進した。

例えば、図 2.11 に示す波形取り込み条件設定画面において、左上の[AUTO Setting]ボタンをクリックすれば、検査体表面を十字状に 2 回のレーザ走査を行ない、受信した超音波の振幅や到達時間を分析して、ベストな振幅レンジ、ディレイ時間、サンプルレートを自動設定するようにしている。上記操作により、レーザ走査枠内のどの点の受信波形も計測時間窓の中に入れることができる。標準的走査枠（200×200 点）だと約 30 秒で設定を行うことができ、技術目標値 1 分以内を達成した。

また、上中央にある[Peak Search]ボタンおよび[Auto Range]ボタンをクリックすれば、受信波形が波形グラフの中に適正に収まるように、波形の位置と大きさを自動サーチしてくれる。その下にある[Average]ボタンは、受信波形を平均化して観察するためのボタンである。

次に、図 2.12 に示す伝搬映像解析・表示画面における自動差分機能を紹介する。自動差分機能とは、特定の音速で進む波を消去して欠陥エコーを強調する機能のことであるが、差分を行うためには、進行波の音速と方向を指定しなければならない。音速は B スコープ（速度線図）から簡単に求められるようにしているものの、初心者にとっては専門的で難しい操作に感じられる。そこで、ボタンをクリックするだけで自動差分する機能を追加した。図 2.12 に示す同期差分テキストリングで自動差分を選択すれば、図 2.13 に示すように計測映像は自動差分によって欠陥エコーを強調した映像に変換される。なお、図 2.13 は

外径 50mm、板厚 3mm のアルミ管の内面に長さ 4mm、深さ 2mm、幅 0.3mm のスリット状の傷を入れたサンプルの超音波可視化映像である。

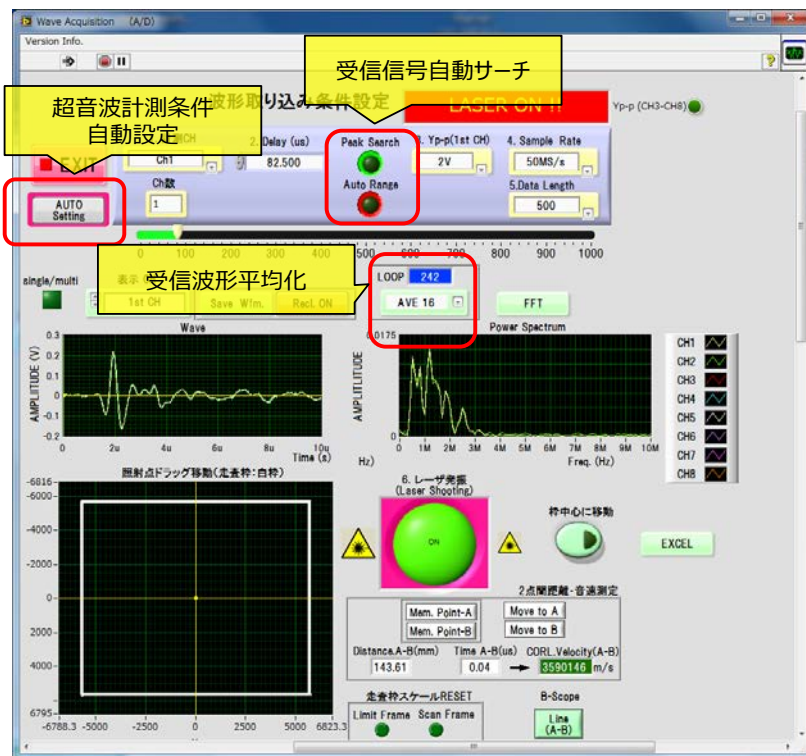


図 2.11 波形取り込み条件設定画面における自動化の推進

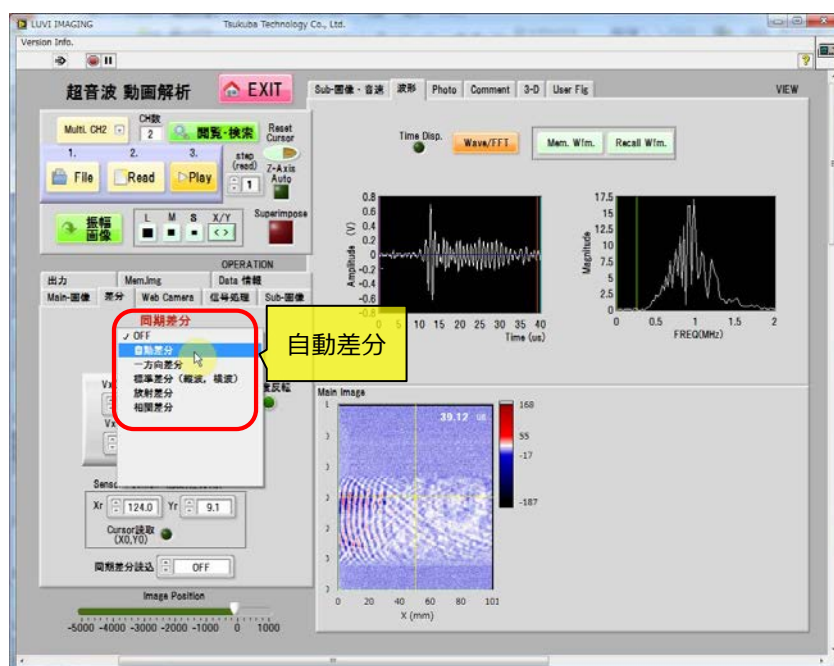


図 2.12 伝搬映像解析・表示画面における自動差分機能

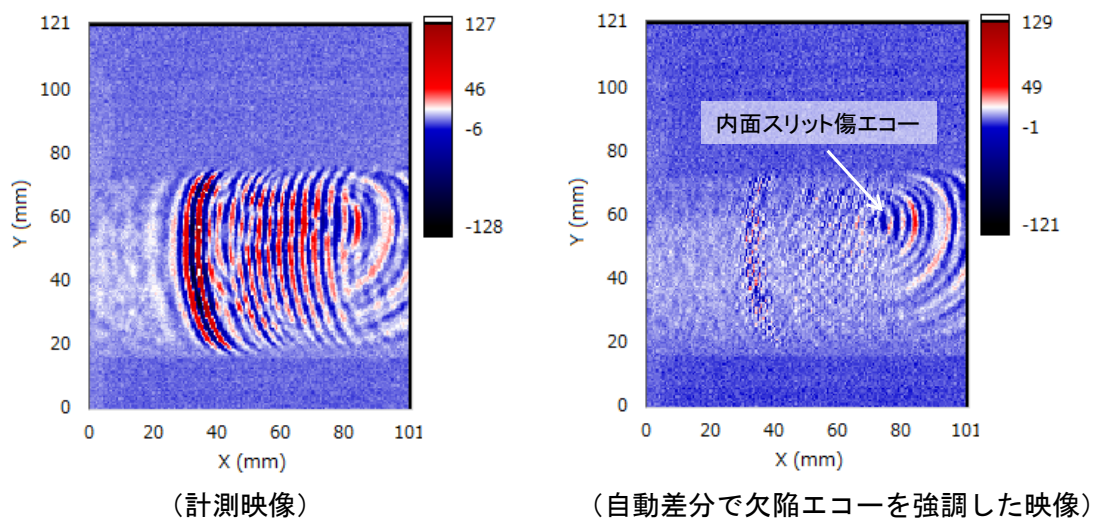


図 2.13 計測したままの映像と自動差分によって欠陥エコーを強調した映像（アルミ管）

2-2-4 検査報告書作成機能

検査現場で、検査員がマニュアルで時間を掛けて検査報告書を作成するのは効率的な検査を阻害するものであり、ユーザからは検査報告書を自動で作成する機能の開発が要望されていた。そこで、計測条件と検査体写真及び超音波伝搬画像を自動記載できる検査報告書自動作成機能のソフトウェア開発を行った。

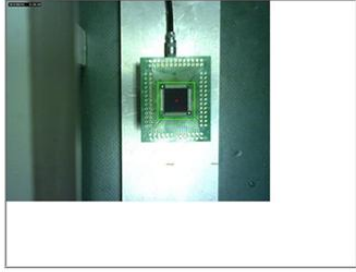
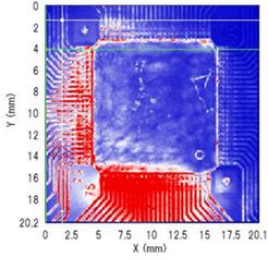
検査報告書に載せたい図をPC画面上に出しておいてから、指定のボタンをマウスクリックすることにより、図 2.14 に示すような検査報告書（エクセル表）を自動作成することができる。検査報告書 1 ページ目には計測条件とユーザコメントが記載され、2 ページ目にはウェブカメラで撮影した試験体画像と動画解析画面に表示した解析画像が記載される。なお、掲載する画像は、メイン画像（超音波伝搬画像）とサブ画像（最大振幅画像、速度線図）のどちらでも選択できるようにしている。本ソフトウェアでは、約 5 秒で検査報告書を作成でき、技術目標値 10 秒以内を達成した。

2-2-5 検査体写真スーパーインポーズ機能

ウェブカメラで撮影した試験体画像を超音波伝搬映像にスーパーインポーズする機能を追加した。これにより、リアリティのある超音波伝搬映像が得られるだけでなく、試験体のどの位置から欠陥エコーが現れているのかを一目で把握できるようになった。図 2.15 に自動車ミッションケースを検査対象として、スーパーインポーズ前の超音波伝搬画像とスーパーインポーズ後の伝搬画像を対比して示す。検査体写真画像をスーパーインポーズすることにより、欠陥エコーが試験体のどの位置から発生しているのかを容易に知ることができる。なお、PC画面の超音波伝搬映像上で欠陥エコー位置にカーソルを合わせてマウスクリックすれば、ガイド光を試験体表面の対応位置に表示できる機能も付与している。

レーザー超音波可視化検査装置検査記録	
測定箇所情報	計測条件
測定箇所 : 2	検査体-ミラー間距離 [mm] : 200
	虚数分割数 : Nx= 198 , Ny= 201
	虚数点数 [点] : 40198
	虚数ピッチ [mm] : dx= 0.101 , dy= 0.1
	虚数速度 [Hz] : 500
	測定時間 [s] : 83
測定場所 :	レーザーパワー [W] : 60/100
品名 :	受信センサー仕様 : 2k20x20A45
材質名 :	
寸法 [mm] :	
板厚 [mm] :	
検査結果所見	備考
異常の有・無	
測定日 : 2012/9/24	承認
測定者 : TeukubaTaro	審査
	作成

(1 ページ目 : 計測条件)

レーザー超音波可視化検査装置検査記録			
測定箇所No.	品名	寸法	
0	0	0	
検査領域			
			
超音波伝搬画像			
			

(2 ページ目 : 検査体写真および計測画像)

図 2.14 自動作成された検査報告書例 (エクセル表)

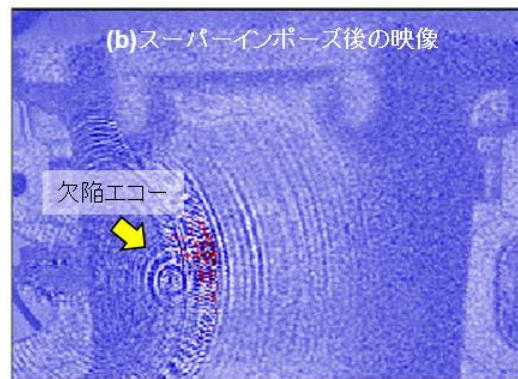
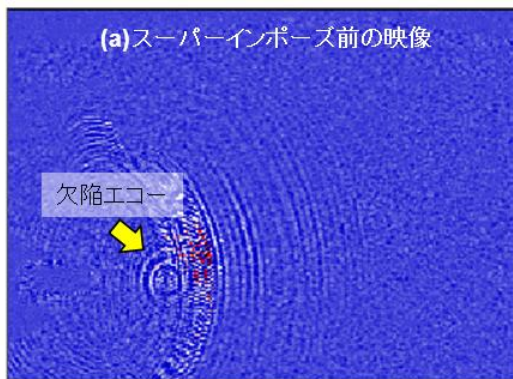


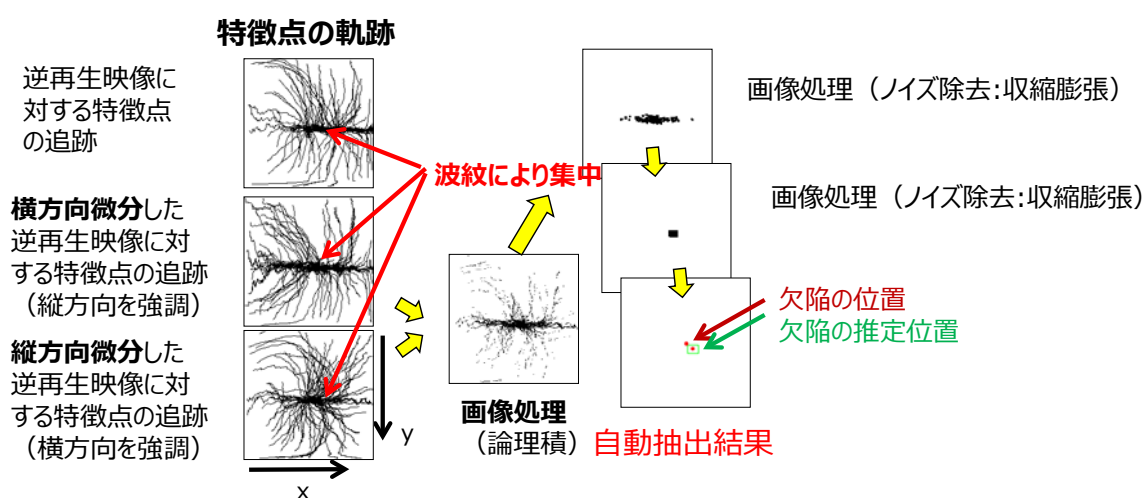
図 2.15 検査体写真をスーパーインポーズする前の画像とスーパーインポーズ後の画像 (ミッションケース)

2-2 欠陥を自動検知できる画像解析ソフトウェアの開発

2-3-1 欠陥位置標定

オプティカルフロー法を用いて超音波伝搬映像を逆流れ解析すると図 2.16 左図に示すように、特徴点の軌跡は音源に集中するので欠陥エコーの発生点を推測することができる。この特徴点軌跡を、微分、収縮膨張等の画像処理を施すことによって、図 2.16 右図に示すように欠陥位置を検出することができる。このようにして推定した欠陥位置と実際の位置は誤差 1mm以内に入っている。

超音波伝搬画像に対して欠陥エコー逆流れ解析を実施



欠陥の自動位置標定誤差 X : 1mm, Y : 0.8mm

位置標定ソフトウェアを完成させ、
誤差1mm以内の位置標定精度を達成した

図 2.16 超音波逆流れ解析による欠陥位置標定

2-3-2 欠陥サイジング

超音波探傷試験における欠陥の検出度は、超音波の波長に左右され、短い波長すなわち高い周波数を用いるほど、微小な欠陥の検出が可能となる。この欠陥検出度は単に超音波の波長だけでなく、欠陥の形状、超音波の入射方向に対する傾き、被検体の音響特性、探傷距離、超音波のパルス幅、ビーム径などにも影響を受けるため、検出可能な欠陥サイズは通常、波長と同程度が目安となっている。

通常の金属構造物の超音波探傷には1~5MHz程度の周波数が用いられるが、10MHz以上の高周波超音波を用いると減衰が大きく、超音波探触子から発振される進行波は非常に低振

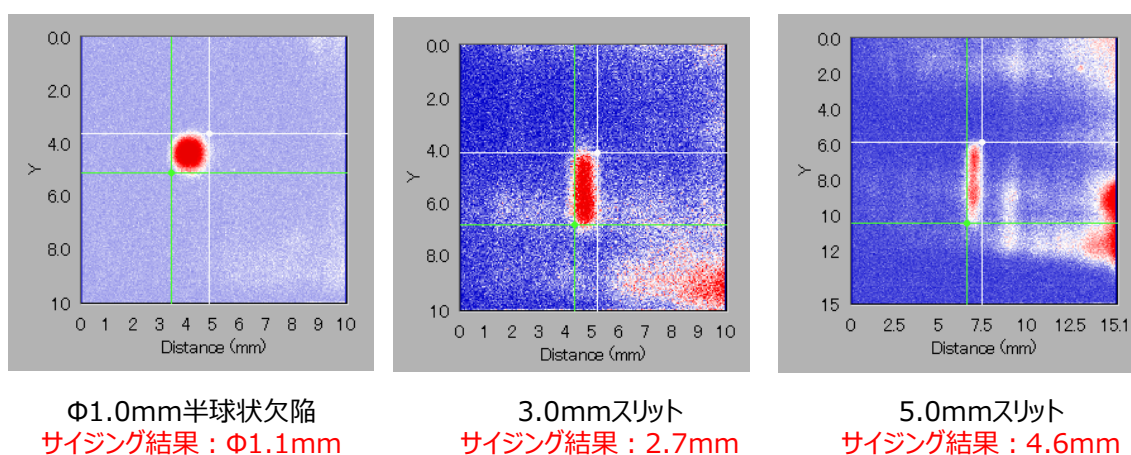
幅になる一方、欠陥検出能は著しく向上し、欠陥部極近傍において高振幅のエコーが検出されることが分かっている。本研究ではこの現象を利用して、高周波超音波伝搬映像の最大振幅画像から欠陥のサイジングを行う手法を提案した。

SUS304 鋼平板（厚さ 2mm）の表面に直径 100 μ m の半球状欠陥、3.0mm および 5.0mm の長さのスリットを放電加工によって導入した 3 つの試験片を作製し、超音波映像化試験を行った。パルスレーザから発振されたレーザ光を、ガルバノミラーを利用して欠陥を含む領域内で、0.1mm ピッチで 2 次元走査を行った。公称周波数 10MHz の超音波探触子をアクリル斜角ウェッジ（90°）に取り付け、接触媒体のグリースを介して試験片表面に固定した。収録された波形の振幅情報を再構成することで超音波映像化を行った。

図 2.17(a)-(c)に 3 種類の欠陥が入った試験片で得られた超音波伝搬映像の最大振幅画像を示す。なお、いずれの試験片においても、進行波の S/N 比は非常に悪く、超音波伝搬の可視化はほぼ不可能であった。図 2.17 からわかるように、欠陥部において欠陥形状を反映して、他の領域に比較して非常に高振幅の領域が存在する画像が得られている。これは高減衰の高周波超音波を使用していることで、進行波が非常に低振幅となり、欠陥部以外でほとんど検出されないことによって、欠陥部が鮮明になっていると考えられる。高振幅領域（図中赤い領域）のサイズを測定するとそれぞれ、 ϕ 1.1mm、長さ 2.7mm、長さ 4.6mm が得られ、いずれも誤差 10% 以内の高精度にサイジングできている。

以上のことから通常の超音波伝搬映像で用いられる周波数帯域よりも高周波の超音波を使用し、その超音波伝搬映像の最大振幅画像を測定することで、欠陥が鮮明に検出でき、高精度でサイジングできることが分かった。

試験片：SUS304鋼 2mm厚
受信センサ：10MHz、斜角90°

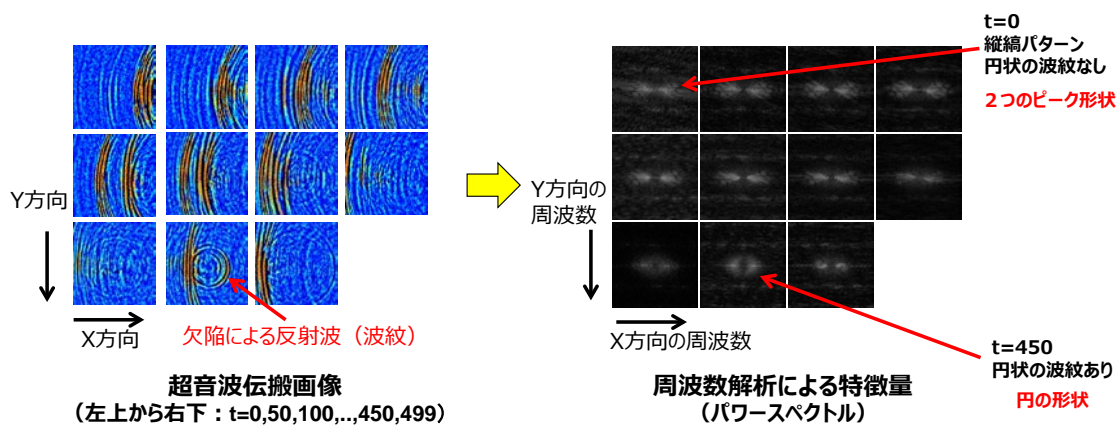


誤差10%以下のサイジングを達成した

図 2.17 各人工欠陥に対する高周波超音波伝搬映像の最大振幅画像

2-3-3 欠陥自動検知

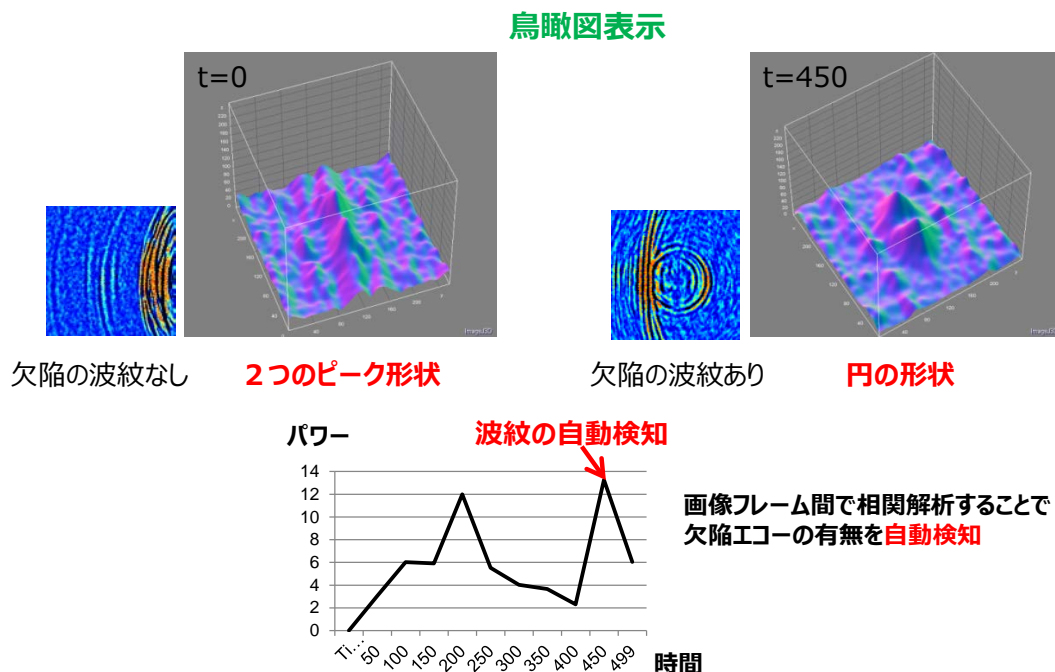
画像相関解析を利用した欠陥エコー検知アルゴリズムを開発した。図 2.18(a)に示す超音波伝搬画像を 2 次元 FFT 解析すれば図 2.18(b)のような画像が得られる。この画像を見



欠陥の自動認識アルゴリズムを開発した

(a) 超音波伝搬映像 (b) 2次元FFT画像

図 2.18 超音波伝搬画像の2次元FFT



欠陥の自動検知を達成した

図 2.19 画像フレーム間相関解析による欠陥エコーの検知

て分かるように、欠陥エコー発生前には二つのピーク形状を持つ縦縞の波紋パターンであったものが、欠陥エコー発生後には円状の波紋パターンに変化している。この画像をフレーム間で相関解析すると図 2.19 のような画像及びグラフが得られる。欠陥エコーが発生すると相関解析特徴量が大きくなるので、しきい値を設けて欠陥エコーを自動検出することが可能である。

2-3 検査条件を自動設定するためのデータベースの作成

レーザ超音波可視化検査装置の計測条件を設定する場合に、毎回、最適計測条件を探索して一から設定し直すのは効率的ではない。そこで、あらかじめ最適検査条件で計測した多種多様のサンプル試験データを蓄積しておき、蓄積されたデータベースの中から、実際に検査したいサンプルの試験に近い計測条件を探索してその計測条件を読み込めるようなシステムを構築した。

2-3-1 最適検査条件によるサンプル試験データの蓄積

ここでは 2 例の超音波可視化データを紹介しておく。

【LSI パッケージ (コンデンサーチップ埋め込み)】

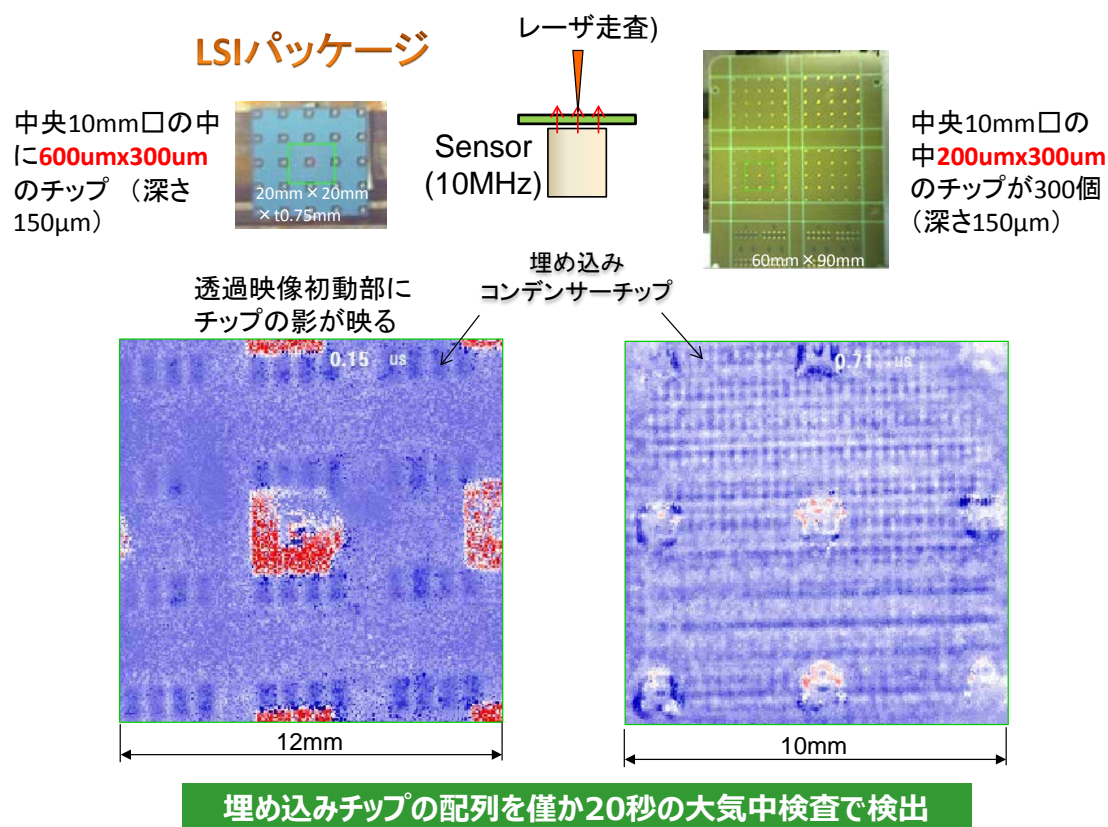


図 2.20 LSI パッケージの超音波透過映像

図 2.20 にコンデンサーチップを埋め込んだ LSI パッケージの超音波透過映像を示す。図に示すように、サンプルの底面から超音波を発進させ、表面に現れる超音波を可視化することにより、太陽光線が雲の影を地面に映すのと同じ原理で、埋め込みチップの形状、配列が映し出されている。C スキャン装置のように水浸させることなく、大気中でのわずか 20 秒の測定で埋め込みチップの形状や配列を検査できる。

また、図 2.21 は亀裂の入った碍子の可視化例である。碍子は高電圧のため、超音波探触子を取り付けるのは危険であり、受信にレーザプローブを用いた完全非接触計測を試みた。図では、平坦部の亀裂エコーが可視化されているが、波状の曲面部の可視化も可能である。

これらの可視化データベースを約 50 種類蓄積した。今後もさらに蓄積していく予定である。

【亀裂入り碍子】

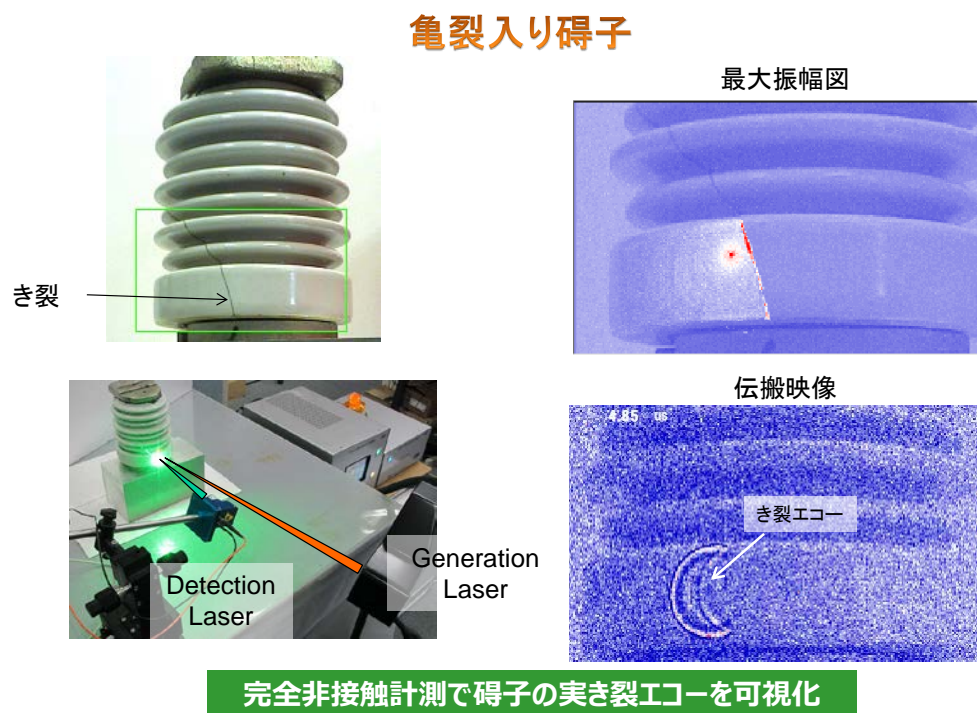


図 2.21 亀裂入り碍子の超音波伝搬映像

2-3-2 計測データベース検索・閲覧ソフトの作成

図 2.22 に作成した可視化データ検索・閲覧ソフトウェア画面を示す。上にある緑の [Folder] ボタンをクリックして、可視化データが保存されているフォルダ群を選択すれば、画面①列目に選択フォルダ内にあるファイル名が表示され、②列目に選択フォルダ内にある JPG 画像ファイルのサムネイル画像が表示される。このサムネイル画像をマウスクリッ

クすれば画像は拡大表示されるので、ユーザは必要に応じてフォルダの内容を概説する JPG ファイルを作成しておけばフォルダの内容を一目で把握できる。③列目に選択フォルダ内にある可視化データのフォルダ名が表示される。④列目に検査体のウェブカメラ撮影画像がサムネイル表示される。そのサムネイルをクリックすれば拡大表示される。⑤列目にはそのフォルダ内にある JPG 画像がサムネイル表示される。サムネイルをクリックすれば拡大表示されるので、このサムネイルには超音波伝搬画像や最大振幅図を入れておくと便利である。また、中央上にある黄色の[可視化データ読み込み]ボタンをクリックすれば、試験体フォルダを表示したフォルダにアクセスして超音波動画映像を表示・解析できるようにしている。その右隣り緑色の計測条件読み込みボタンをクリックすれば、レーザ走査条件および超音波受信条件を読み込んで可視化計測に反映できるようにしている。

以上、計測条件の自動設定に反映できる検索・閲覧ソフトを作成した。

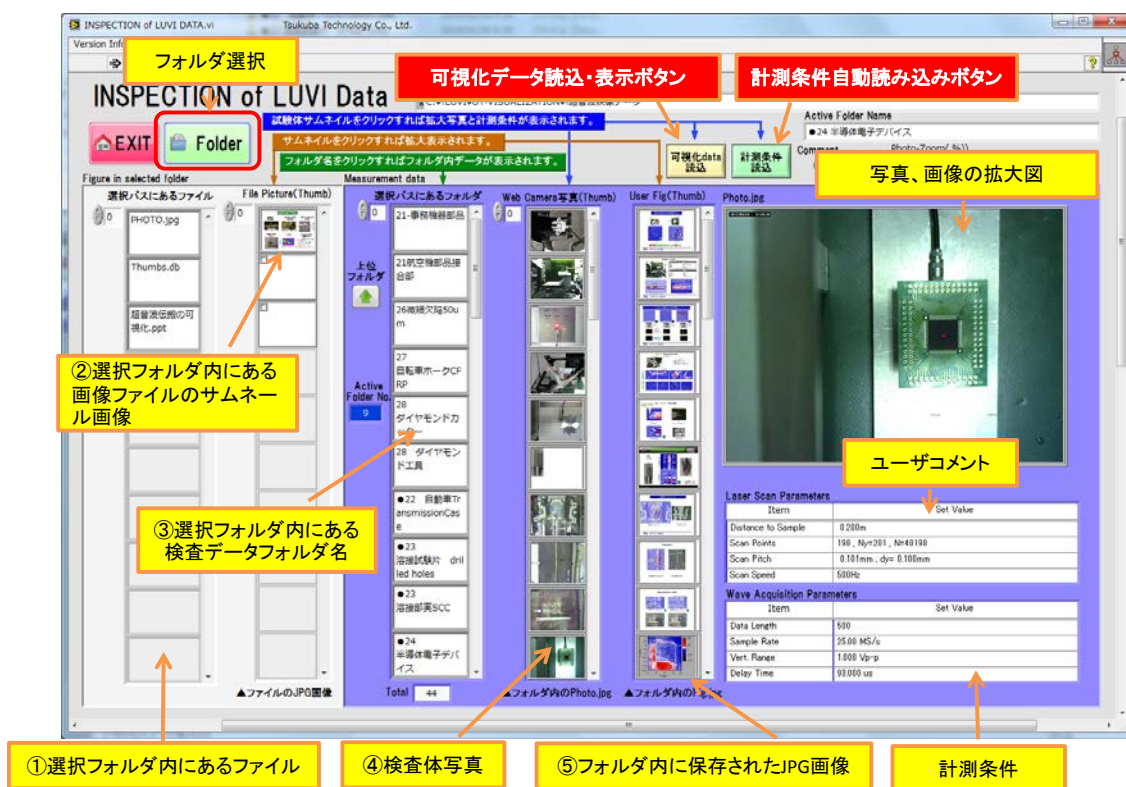


図 2.22 可視化計測データ検索・閲覧ソフトウェア画面

第3章 総括

申請時に、提案書に記載した技術的目標値と事業終了時の達成度を対比させて図 3.1 に示す。目標はほぼ達成した。ただ、10 ミクロンの欠陥検出性能の達成に関してだけ、20 ミクロンの欠陥検出性能しか実現できなかった。これは、10 ミクロンの欠陥入り試験片の製作が困難で検証試験を行うことができなかったためである。

本事業では、非破壊検査の分野で、かなり革新的・チャレンジングな目標を立て、産業界の要望に応えられる革新的な検査装置の開発を進めてきた。性能的な面では順調に研究開発を進めてきたが、製品が売れるか売れないかは、性能以外の、利便性や迅速性、現場環境への適応性などによって決まるとも言われており、言ってみれば、これから勝負だと考えている。現場ユーザの声に耳を傾け、是非欲しいと思われる商品、使って喜ばれる商品の開発を目指して努力していきたい。

なお、つくばテクノロジー（株）代表取締役・王波は、本年 2014 年 2 月 18 日にジャパンベンチャーアワード中小機構理事長賞を受賞した（図 3.2）。これも本事業の支援があったのものだと深く感謝している次第である。

技術的目標値と達成度

技術的目標値（提案書より抜粋）	達成度
① 高感度・高分解能な非接触検査システムの構築 ■ 10ミクロンの検出性能 （現行超音波Cスキャン装置よりも1桁～2桁向上）を達成する。 ■ コンパクトな検査装置（現行超音波Cスキャン装置の 1/2以下のサイズ ）を開発する。	■ 20ミクロン の欠陥検出性能を実現 95% ■ Cスキャン装置の 1/2以下のサイズ の装置を開発 100%
② 高速計測・制御ソフトウェアの開発 ■ 20 mm×30 mmの検査面積（半導体パッケージの標準的サイズ）を 60秒以下で測定できる高速検査性能 （現行超音波Cスキャン装置の1/10以下）を達成する。 ■ レーザ走査条件、超音波計測条件を自動設定できる機能を付与し、 1分以内に計測条件を設定 できる装置を開発する（専門のオペレータ不要）。 ■ 優れた記録性の付与： 検査報告書を10秒以内で自動作成 する機能や、超音波映像とその映像に対応した光学 写真 を スーパーインポーズ させて対比できる機能を付与する。	■ 20mmx30mmの検査面積を 10秒 で測定できる高速検査性能を達成 100% ■ 計測条件を約 30秒 で自動設定できる機能を付与 100% ■ 検査報告書を 2～3秒 で自動作成する機能およびウェブカメラで撮影した検査体写真を超音波動画映像に スーパーインポーズ する機能を付与 100%
③ 欠陥を自動検出できる画像解析ソフトウェアの開発 ■ 欠陥エコーを逆流れ解析して3次元複雑形状試験体の 欠陥位置を1mm以下の誤差で標定 する機能を付与する。 ■ 伝搬画像・時間解析により、欠陥を 1mm以下の精度でサイジング できる機能を付与する。 ■ 欠陥を 自動認識 できる機能を付与する。	■ 欠陥エコー逆流れ解析法を開発し欠陥位置標定誤差 1mm以下 を達成 100% ■ 超音波伝搬映像の最大振幅画像を用いた 簡単な手法で誤差10%以内のサイジング を達成 ■ 画像フレーム相関解析アルゴリズムを利用して欠陥エコーを 自動検知 する方法を開発 100%
④ 検査条件を自動設定するためのデータベースの作成 ■ 欠陥検査 計測条件データベース を作成し、 計測条件自動設定機能 へ反映させる。	■ 最適計測条件で測定した 可視化データを蓄積 し、それらのデータを 検索・閲覧 できるソフトウェアを作成（ 計測条件の自動読み込み・反映可能 ） 100%

図 3.1 技術的目標値と達成度



図3.2 ジャパンベンチャーアワード2014中小機構理事長賞受賞 2014年2月18日