



# ナゲットプロファイラーのご紹介

作成：2010年06月10日  
改訂：2020年04月13日

# 1. 背景

従来のスポット溶接の品質管理は、

- ・ 品質保証：破壊試験
  - ・ 品質確認：ドライバーチェック（DC）
- です。

このドライバーチェック（DC）に代わる検査方法をご提案。



**磁気を使った非破壊検査**

ドライバーチェックはタガネ試験（JIS Z3144）を指す。

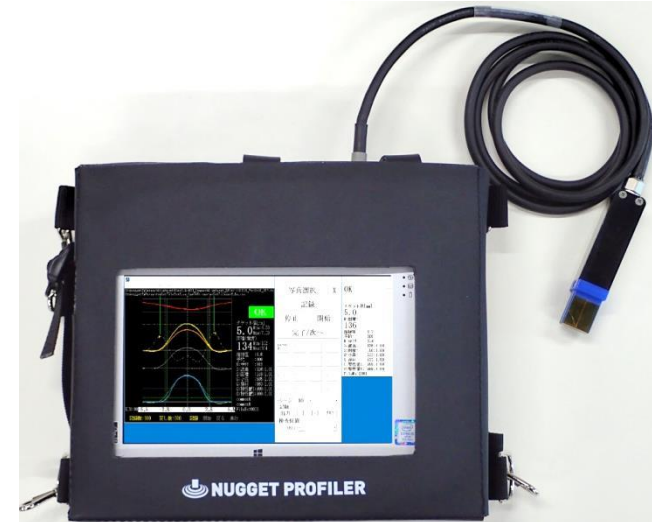
## 2. ナゲットプロファイラーとは

磁気を利用したスポット溶接の検査機です。

※ナゲットプロファイラーをNPと表記します。

特徴：

- ① ナゲットを数値化できます。
- ② ナゲットと圧接の判別が可能です(15ページ)。
- ③ ジェル、水などの媒体は必要ありません。  
(超音波方式はジェルなどの媒体が必要。)
- ④ センサを軽く当てて検査します。
- ⑤ 検査速度は1打点あたり4秒程度です。
- ⑥ 結果を電子ファイルに自動保存します(Dataフォルダ)。
- ⑦ バッテリーで駆動します(ライン内に持ち込み可能です)。



簡単にスポット溶接のナゲットを数値化できる検査機です。

⇒同位置の溶接が一定品質を維持しているか確認可能

### 3. ナゲットプロファイラーのメリット

- ・ 検査物に外傷を与えずに検査が可能
- ・ 高張力鋼（ハイテン材）の検査が可能
- ・ トレーサビリティが可能（電子ファイルに自動保存）

<ドライバーチェックの問題点>

普通鋼材： 鋼板に曲がりが生じ、金属疲労が発生。  
(270MPa, 440MPa)

ハイテン材： ナゲットかその周辺に亀裂が生じ、  
(780MPa以上) 溶接強度が低下。



ドライバーチェックによる  
亀裂の様子（断面カット）

## 4. ナゲットプロファイラーの導入目的

### 従来

条件出し

- ・ 溶接条件
- ・ チップ交換間隔
- ・ 溶接ガンティーチング

製造

- ・ 溶接実施

出荷



### 提案

出荷品質の安定化、向上のための **PDCAサイクル** を構築

条件出し (P:計画)

- ・ 溶接条件
- ・ チップ交換間隔
- ・ 溶接ガンティーチング

製造 (D:実行)

- ・ 溶接実施

検査 (C:評価)

- ・ 品質の安定度確認

**不安定箇所の抽出**

出荷

- ・ 出荷物の品質向上



フィードバック (A:改善)

- ・ 条件の改善

変動の大きい溶接打点を発見  
⇒工程を安定させる


## 5. 運用用途例

### 5.1. 運用用途例 生産ライン

同位置の溶接に対し、溶接品質が保たれているかを確認する事ができます。

⇒スポット溶接によって形成された溶接部を定量化(数値化)し比較が可能

※本装置は破壊試験時からの相対検査となります。

	破壊試験		破壊試験	
		   ...  		 ...
従来	<項目> 破壊径計測 <基準> 4√t[mm]など	<項目> ドライバーチェック <基準> 剥がれ無い事	<項目> 破壊径計測 <基準> 4√t[mm]など	<項目> DC
提案	<項目> 破壊径計測 <基準> 4√t[mm]など + <項目> NPで数値化	<項目> NPで数値化 <基準> 破壊試験時と数値比較 ・変動なし⇒品質安定 ・変動幅で品質低下量把握	<項目> 破壊径計測 <基準> 4√t[mm]など + <項目> NPで数値化	<項目> NP

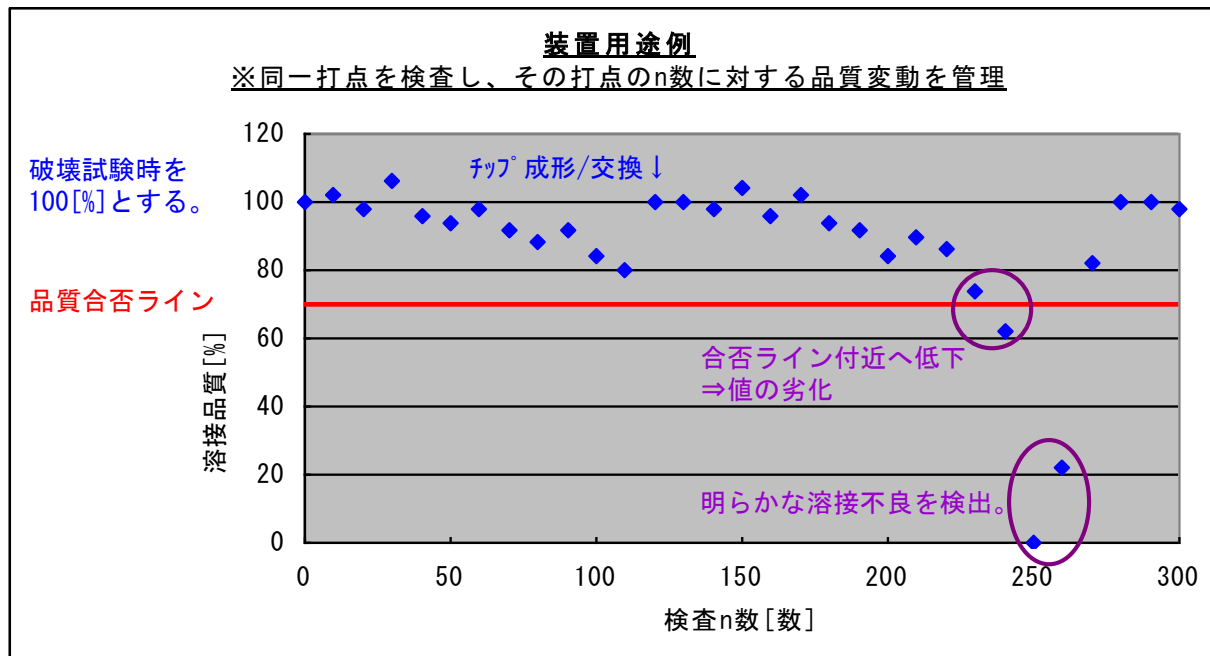
## 5.2. 運用用途例 ～前ページの続き～

検査ファイルをプロット(プロットソフトも同梱)することで  
下記2項目が分かります。

- ①値が劣化した場合・・・溶接不良が発生した事が分かります。
- ②値が激しく変動した場合・・・工程(溶接状態)が不安定だと分かります。
  - ・理由1：鋼板に対し溶接ガンが斜めに入っている ⇒ ティーチング修正で改善
  - ・理由2：鋼板間に隙間が発生 ⇒ 板合わせ修正で改善

**不良品検出に加え、工程の安定性の確認に御利用頂けます。**

(ティーチングの作業目安にもご利用できます。)



※本装置は破壊試験時からの  
相対検査となります。

絶対検査ではありませんので  
装置の出力径は実寸径とは異なる場合がございます。

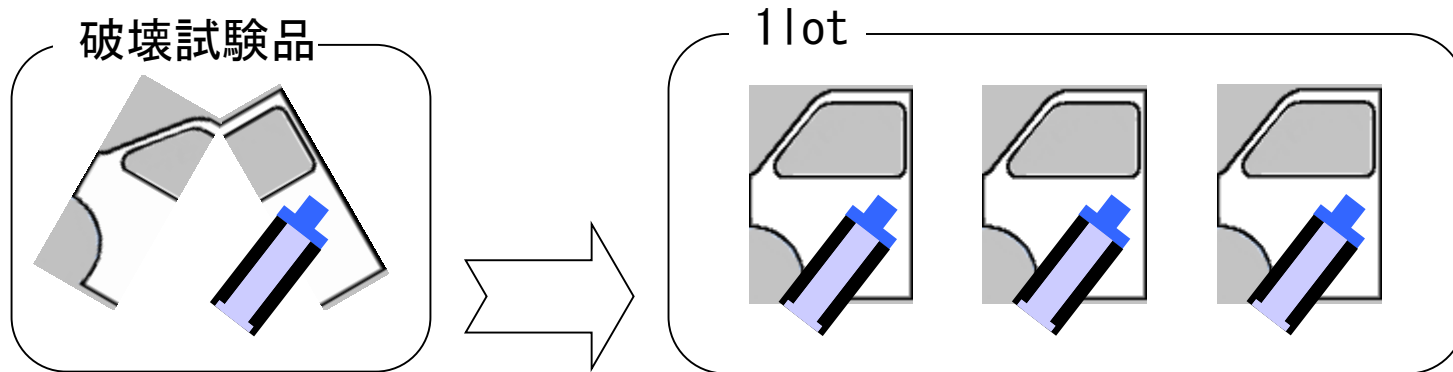
破壊試験時に『本装置が数値化した値』と『実際の溶接径』をパラメータで関連付ける必要があります。

## 5.3. 運用用途例 出荷検査

部品会社での使用が考えられます。

- ①ロット内の全ての部品を数値化・・・ロット内のバラツキを確認できます。
- ②その後ロット内から1部品を抜き取り破壊試験する事で品質が保証できます。

**※不良部品流出を阻止できます(破壊試験品以外も品質確認ができます)。**



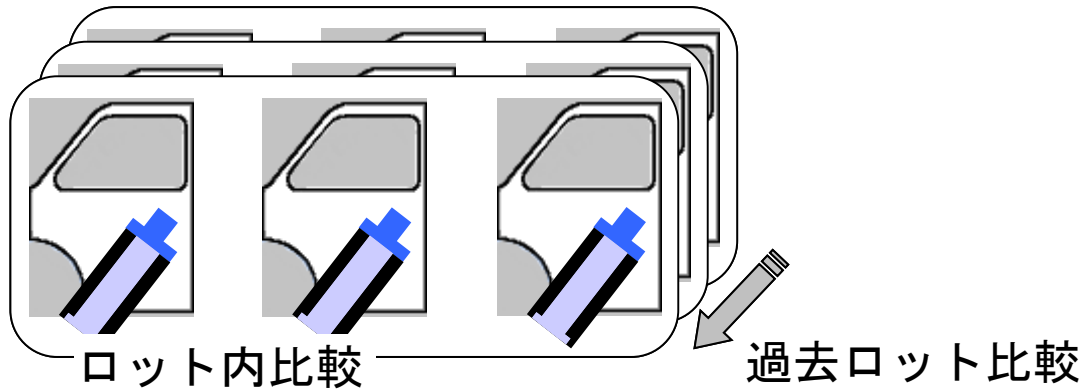


## 5.4. 運用用途例 受入検査

受入部門での使用が考えられます。

ロット内比較 : 受入ロット内で品質が同等であることを確認します。

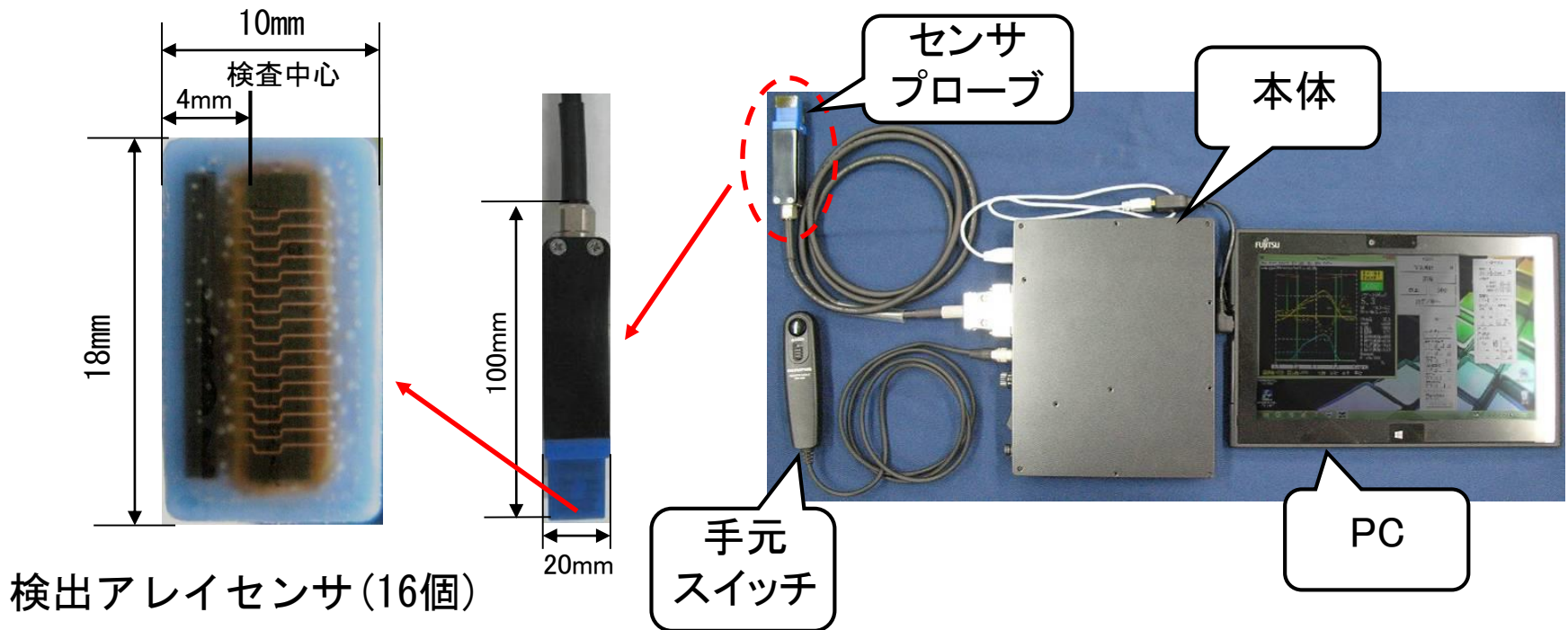
過去ロット比較 : 過去のロットと品質が同等であることを確認します。



## 6. 装置構成

本装置は以下の4点で構成しています。

- ・ 本体 : ハードウェア制御, および励磁電圧パターン作成機能
- ・ タブレットPC : データ解析, およびマンマシーンIF機能
- ・ センサプローブ : 磁束発生およびデータ取得機能
- ・ 手元スイッチ : 検査データ記録トリガ機能



# 7. 鋼材の変化

## 7-1. 鋼材の焼入れによる相の変化

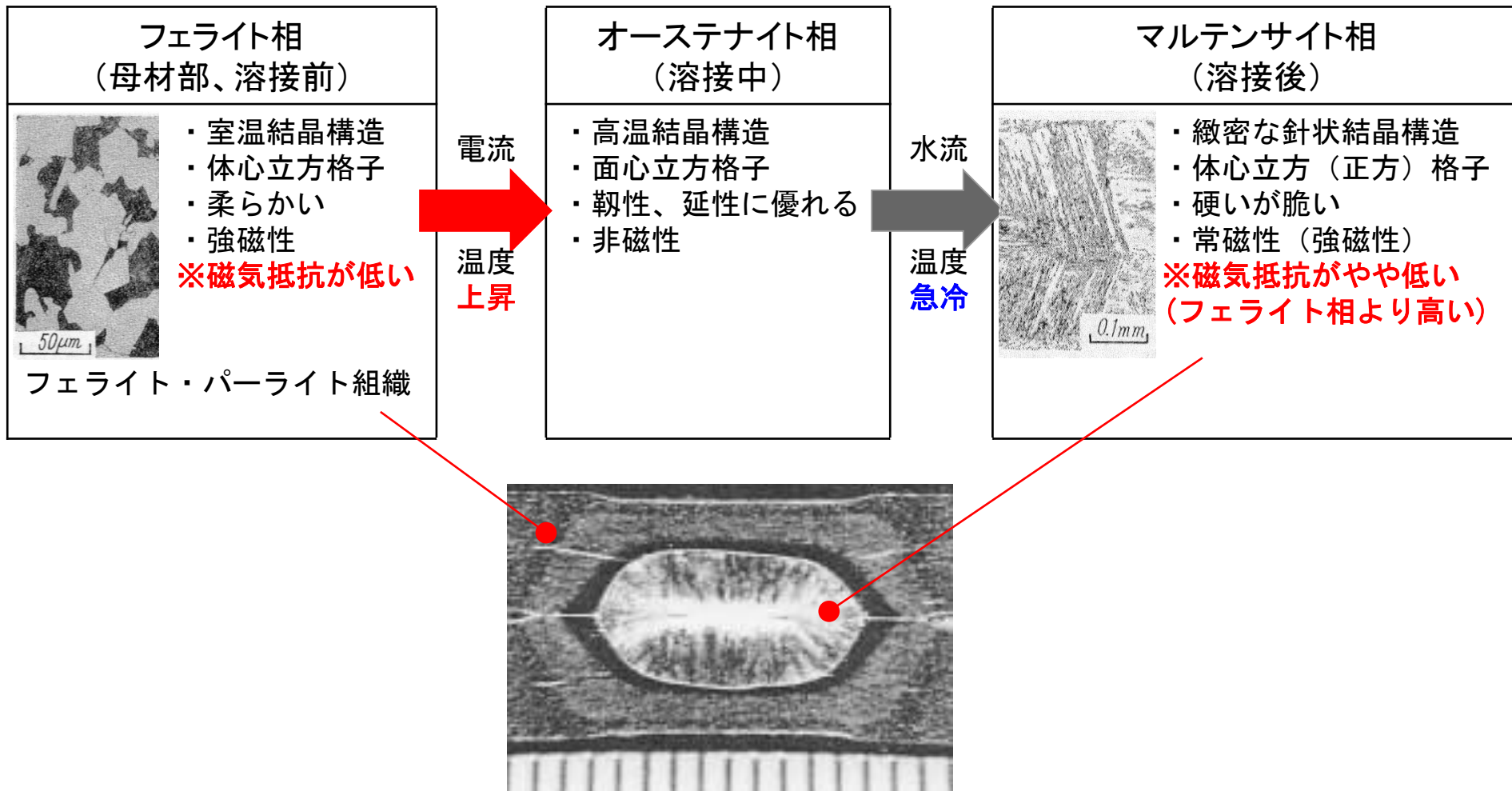


図7-1.溶接部断面写真

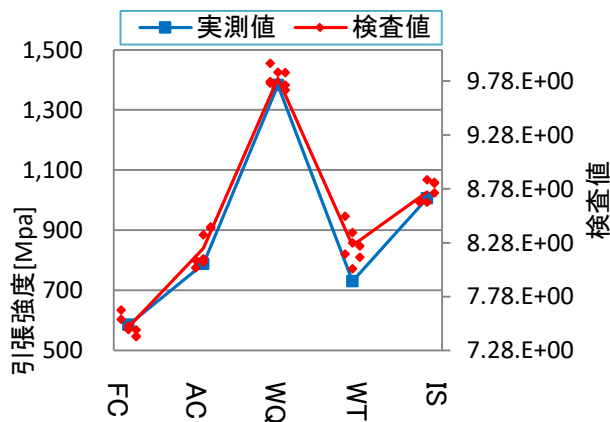
## 7-2. 鋼材の熱処理に伴う磁気特性の変化

表7. 試験片諸元－熱処理 鋼種JSC980Y/炭素量0.16[mass%]

名称	加工内容	引張強度 [MPa]*1	全伸び [%]*1	硬度 [HV]*2
FC	1000度(5分) + 炉冷	585	22.5	155
AC	1000度(5分) + 空冷	788	18.1	176
WQ	1000度(5分) + 水冷	1383	8.6	354
WT	1000度(5分) + 水冷 + 600度(15分) + 空冷	730	15.7	229
IS	加工無し (初期状態)	1006	14.6	295

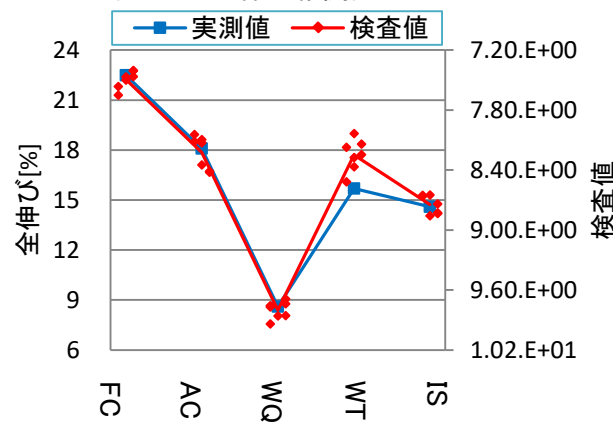
\*1: 引っ張り強度試験 \*2: ビッカース硬さ試験

図7-2-1. 引張強度相関図



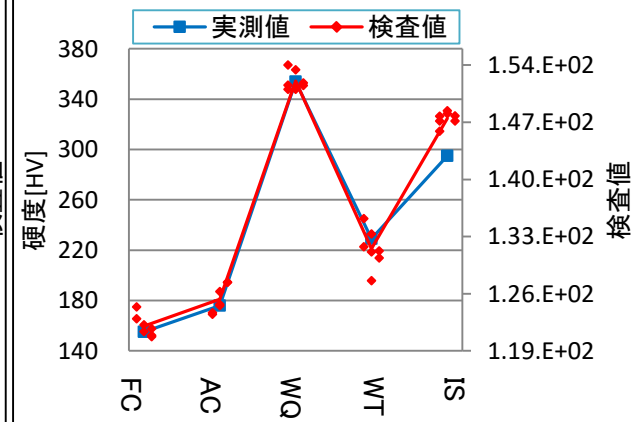
相関係数値: 0.986

図7-2-2. 全伸び相関図



相関係数値: -0.982

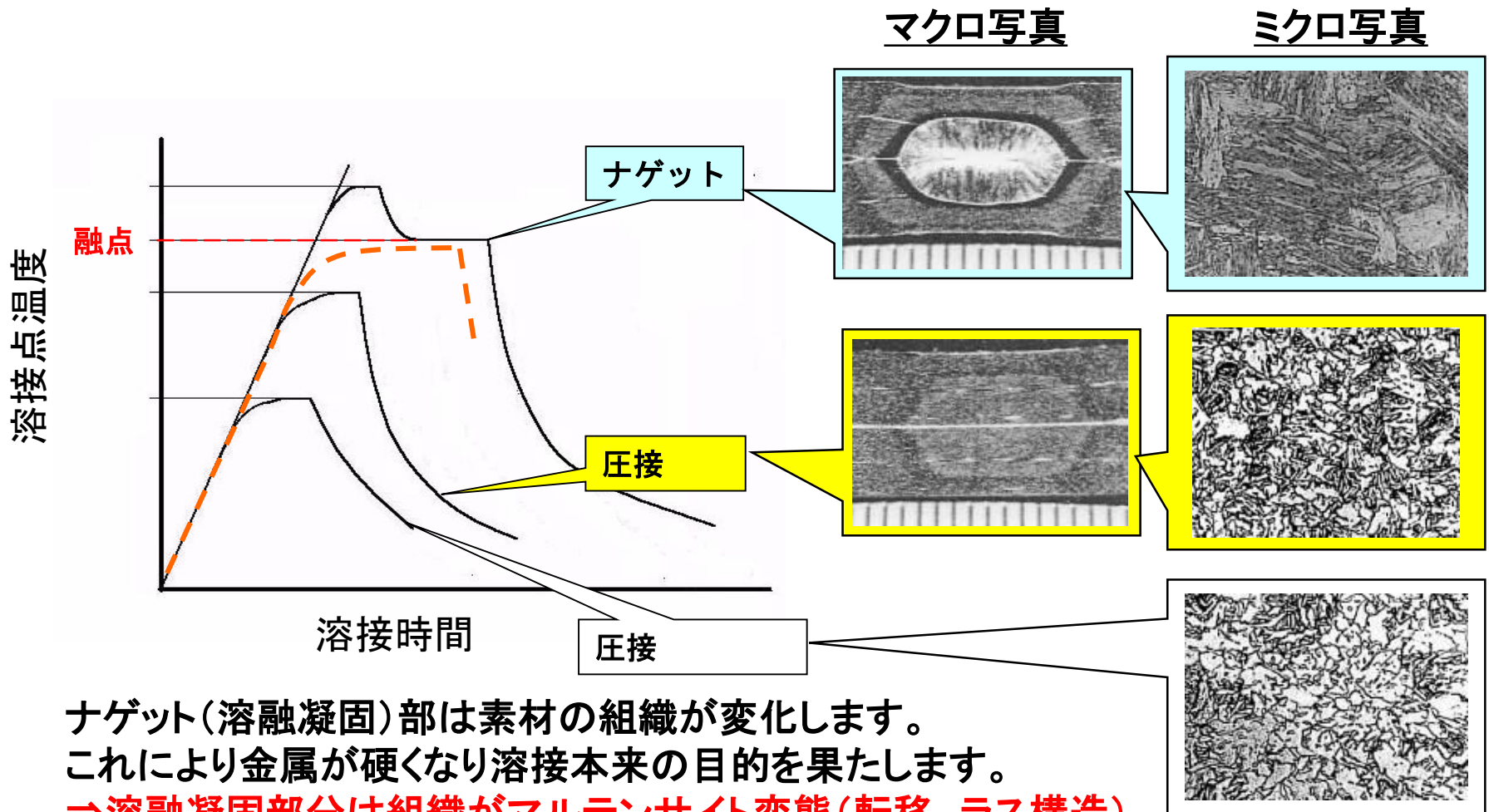
図7-2-3. 硬度相関図



相関係数値: 0.988

[機械的特性(青)] と [磁気特性(赤)] に高い相関がある。

## 8. ナゲットと圧接のマクロ写真



ナゲット(溶融凝固)部は素材の組織が変化します。  
 これにより金属が硬くなり溶接本来の目的を果たします。  
 ⇒溶融凝固部分は組織がマルテンサイト変態(転移、ラス構造)  
 するため透磁率(磁束密度の発生量)が低下します。  
 本装置はこの特性を用いて、磁気で検査を行っております。

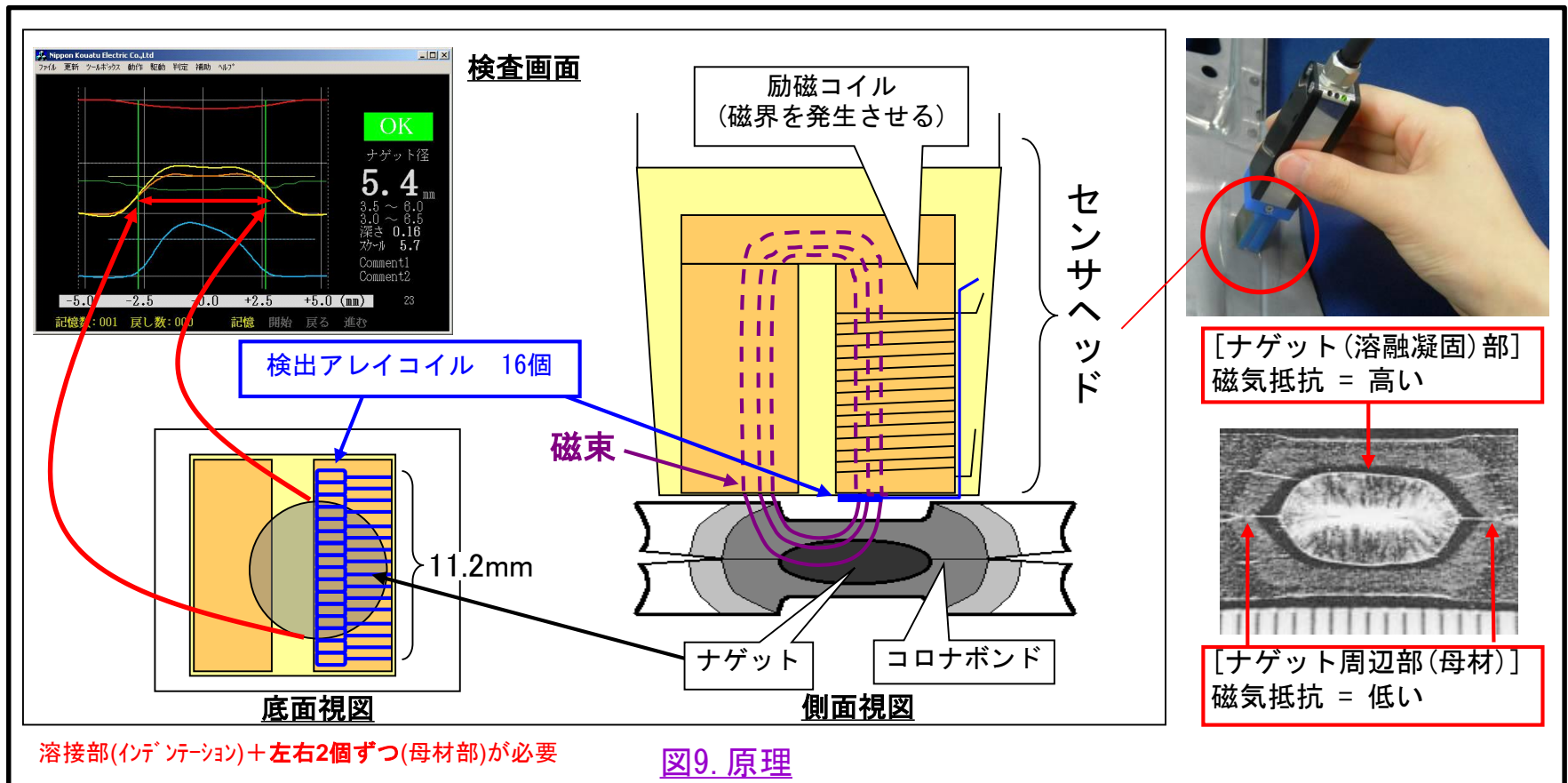
20  $\mu$  m

# 9. 検査理論概要とセンサ構造

本磁気センサは二つのコイルで構成されます。

- ①励磁コイル：磁気を発生させる電磁石
- ②検出コイル：発生した磁束を電気信号に変換し取得するコイル

溶接部と母材部との磁気抵抗の差を検出コイル16個で取得し波形化します。

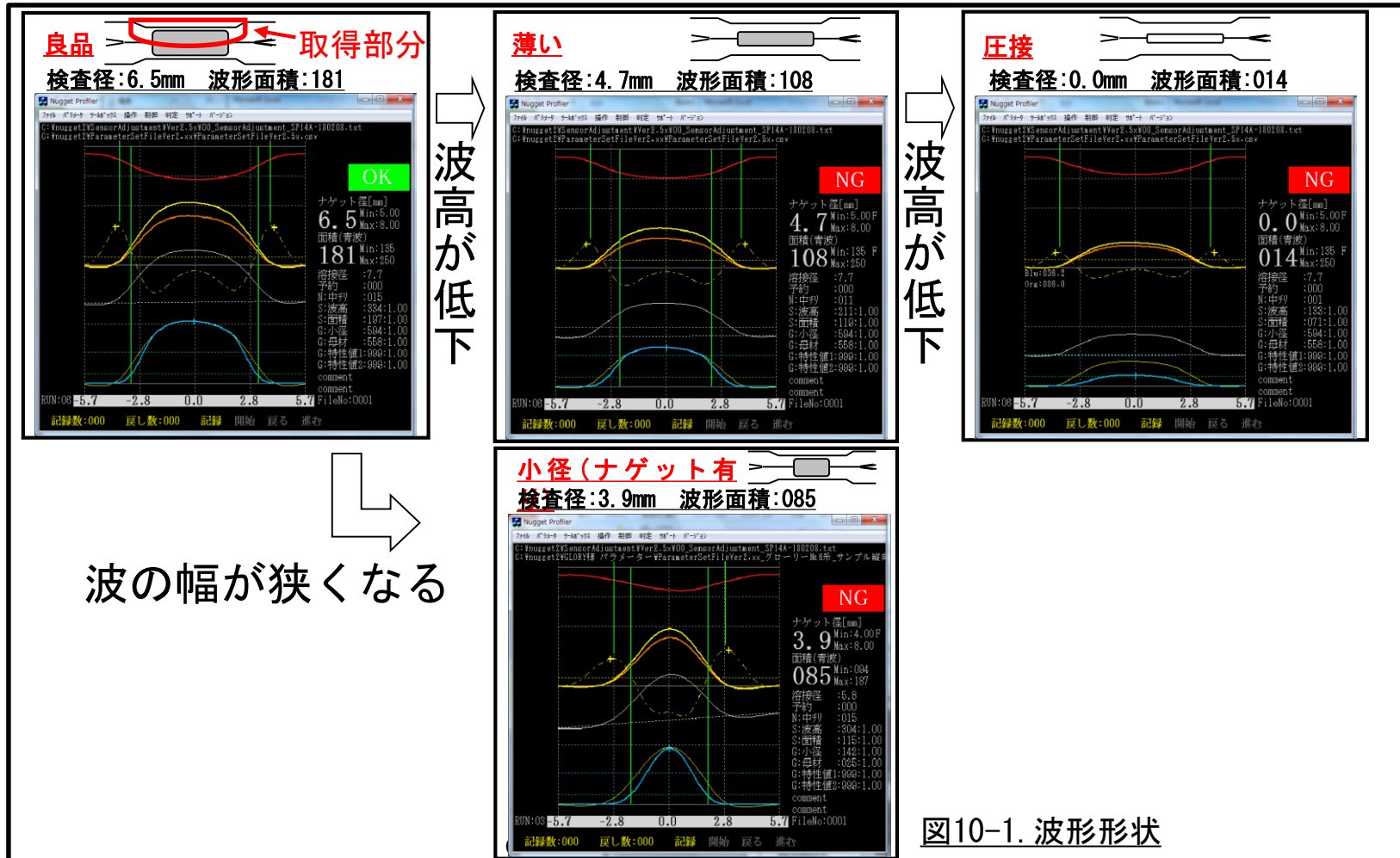




# 10. 溶接品質

## 10.1. 溶接品質と検査値との比較

磁気抵抗の取得部分は下図赤部分(2枚板の1枚目から2枚目の間)です。溶接品質の変化により、検査波形が下図の様に遷移します。よって検査結果として、径のみではなく波形面積も管理する事が望ましいです。



## 10.2. 圧接とナゲットの判別

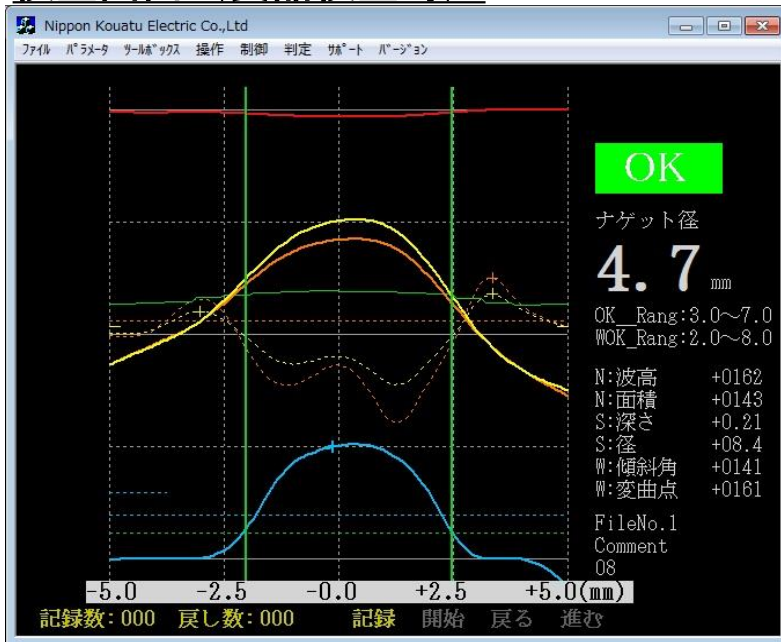
前ページで得られた検出値を元に、不良品(圧接状態)と良品(ナゲット)を検査した際の解析結果(検査波形)を下表に示します。

下表の一番下の『差分』の項が解析結果です。これは黄波と橙波の差分値となります。

- ・ 不良品検査時⇒青波(差分)が平らもしくは低い山状になります。
- ・ 良品検査時⇒青波(差分)が高い山状になります。

※良品/不良品の判定は破壊試験を元に、パラメータで設定します。

### 検査画面 (良品検査時)





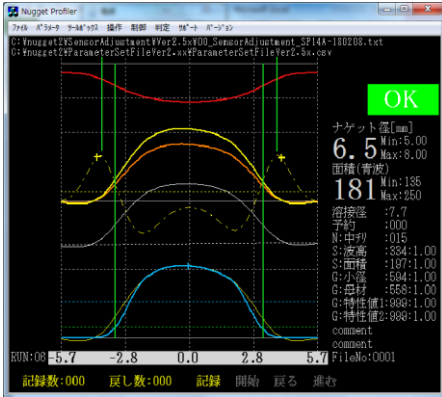
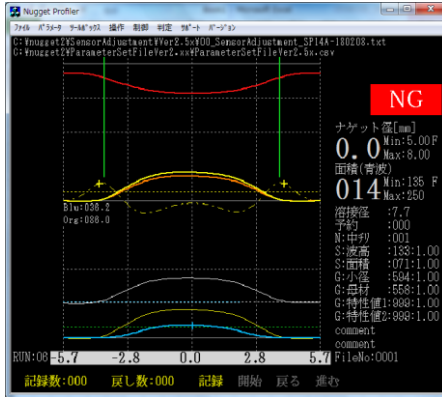
※赤線は表面形状を推測しております。

	良品(ナゲット)	不良品(圧接状態)
マクロ写真 (カット断面)		
弱磁界 検査画面:橙波 (不要)		
強磁界 検査画面:黄波 (要・不要)		
差分 検査画面:青波 ※解析結果		



重要

○OK品、NG品の比較

項目	OK品	NG品
マクロ写真		
状態	熔融凝固	固相接合 (圧接=cold joint)
組織	変化十分 (マルテンサイト)	変化不十分
磁気抵抗	やや低い (フェライト相より高い)	低い
検査波形	 <p>凸高い</p>	 <p>凸低い</p>

○磁気抵抗が変化する項目

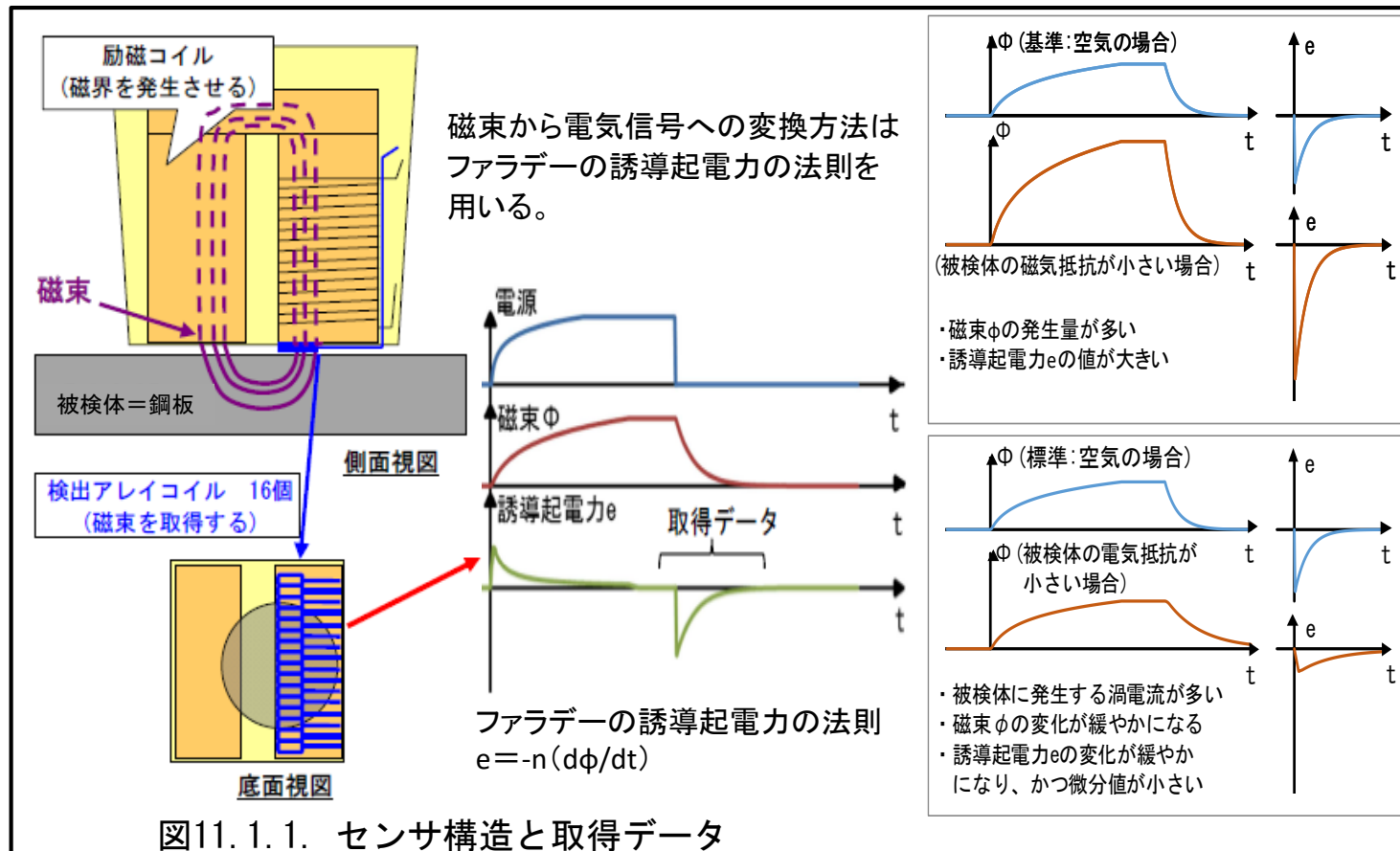
項目	S/N	強磁界 (黄波形)	弱磁界 (橙波形)
形状変化 (曲げ・プレスなど)	ノイズ	取得	取得
加圧 (スポット溶接時)	ノイズ	取得	取得
加熱 (組織変化を伴わない)	ノイズ	取得	取得
組織変化 (マルテンサイト変態)	シグナル	取得	ほぼ取得不可

# 11. データ解析方法

## 11.1. データ取得方法

本磁気センサは二つのコイルで構成されます。

- ①励磁コイル：磁気を発生させる電磁石
- ②検出コイル：発生した磁束を電気信号に変換し取得するコイル



# 11. データ解析方法

## 11.2. センサ概要

本磁気センサの励磁方式は直流遮断方式です。

(弊社オリジナル技術：特許取得済み)

一般的な交流（正弦波）方式に比べ  
誘導起電力の発生量が多い事が特徴です。

よって、次の性能を実現しております。

- ①高性能化：鋼鉄の組織変化を検知可能
- ②小型化：約11mm内に16個のアレイセンサを配備

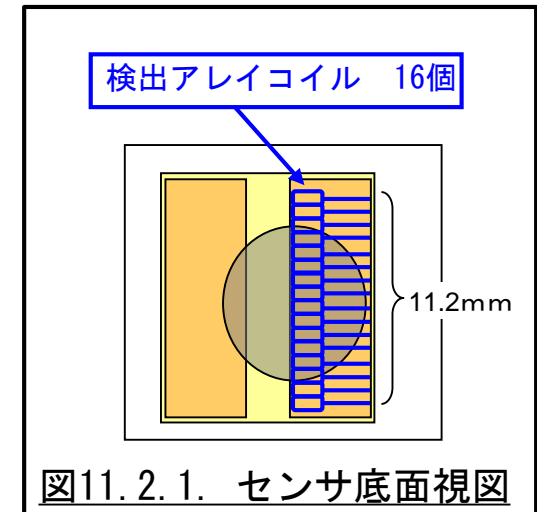


図11.2.1. センサ底面視図

# 12. 検査理論

## 12.1. 取得信号

一般的に鋼材に焼入れを行うと、材料の磁性特性が変化する事が知られております。  
 図は『B-H曲線』と呼ばれる物で、磁界強度に対し発生する磁束密度量を表しております。  
 発生する磁束密度Bは材料の透磁率により決定され、その透磁率を図に示すように  
 母材, 圧接, ナゲットで異なります。

⇒磁束密度Bを取得する事で溶接部位を検出できます。

磁束密度Bを推定する為に、磁束Φを電気信号eに変えて取得しております(ファラデーの電磁誘導の法則)

(1) 磁束密度Bは磁界Hにより発生します。

$$B = \mu H \quad \mu : \text{透磁率 [H/m]}$$

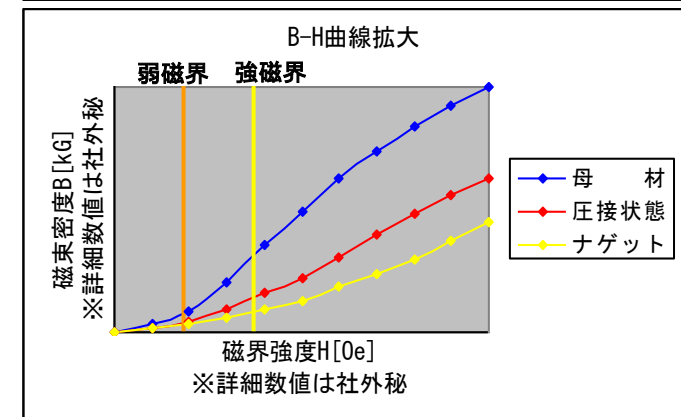
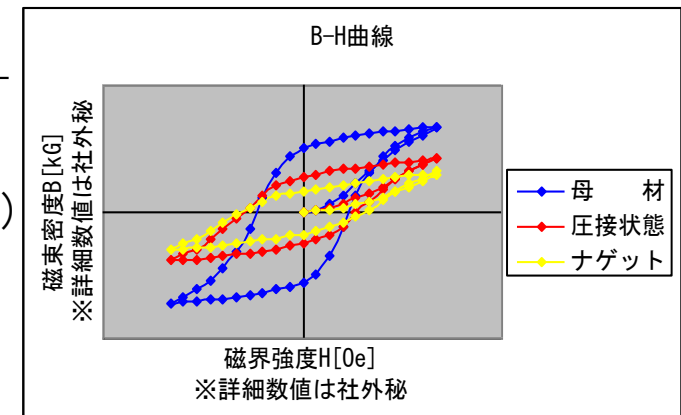
(2) 磁束密度Bと磁束Φの関係は次式です。

$$B = \phi / S \quad S : \text{磁束が垂直に貫く面積}$$

(3) 本装置の検査取得信号eは次式です。

$$e = -N \times d\Phi / dt \quad N : \text{検出アレイコイルの巻き数}$$

(上式がファラデーの電磁誘導の法則式)



横軸: 磁界強度Hは励磁コイルに流れる電流量で決まる。  
 縦軸: 磁束密度Bを検出アレイコイルで取得する。

## 12.2. 解析方法

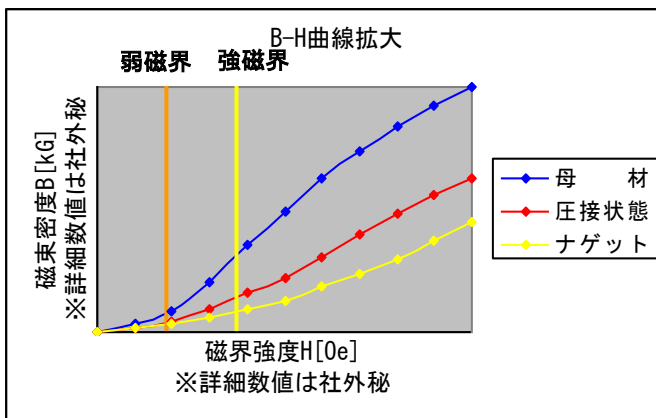
励磁コイルに流す電流量で磁界強度を操作できますので、磁界強度が弱い時(以下『弱磁界』)磁界強度が強い時(以下『強磁界』)の2パターンで信号を取得し、ナゲットの定量化、および溶融凝固部の有無を算出しております。

2パターンの磁界強度を使用する理由は、B-H曲線が非線形という点に注目した為です。

- ・弱磁界：母材に対し、不良品(圧接)と良品(ナゲット)は似た特性を示します。
- ・強磁界：母材に対し、不良品より良品の方が離れた特性を示します。

※解析波形は母材からの相対値で得られます。母材の磁束密度に対し、溶接部(圧接, ナゲット)の磁束密度が離れている程、検査波形の山は高くなります。

よって弱磁界をベースに強磁界を観察した時、より母材との特性が離れている時は良品(ナゲット)と判断しております。これは検査画面の青波で表現しており、黄波と橙波の差分から算出しております。



検査部位	弱磁界			強磁界		
	磁束密度	逆数×100	ゲイン調整(母材=20) ※検出値	磁束密度	逆数×100	ゲイン調整(母材=20) ※検出値
母材	7	100/7=14.3	14.3×20/14.3=20.0	3.1	100/31=3.26	3.26×20/3.26=20.0
圧接状態	3	100/3=33.3	33.3×20/14.3=46.7	1.3	100/13=7.69	7.69×20/3.26=47.2
ナゲット	3	100/3=33.3	33.3×20/14.3=46.7	8	100/8=12.5	12.5×20/3.26=76.7

※上表を次ページに図示してありますので参照下さい。

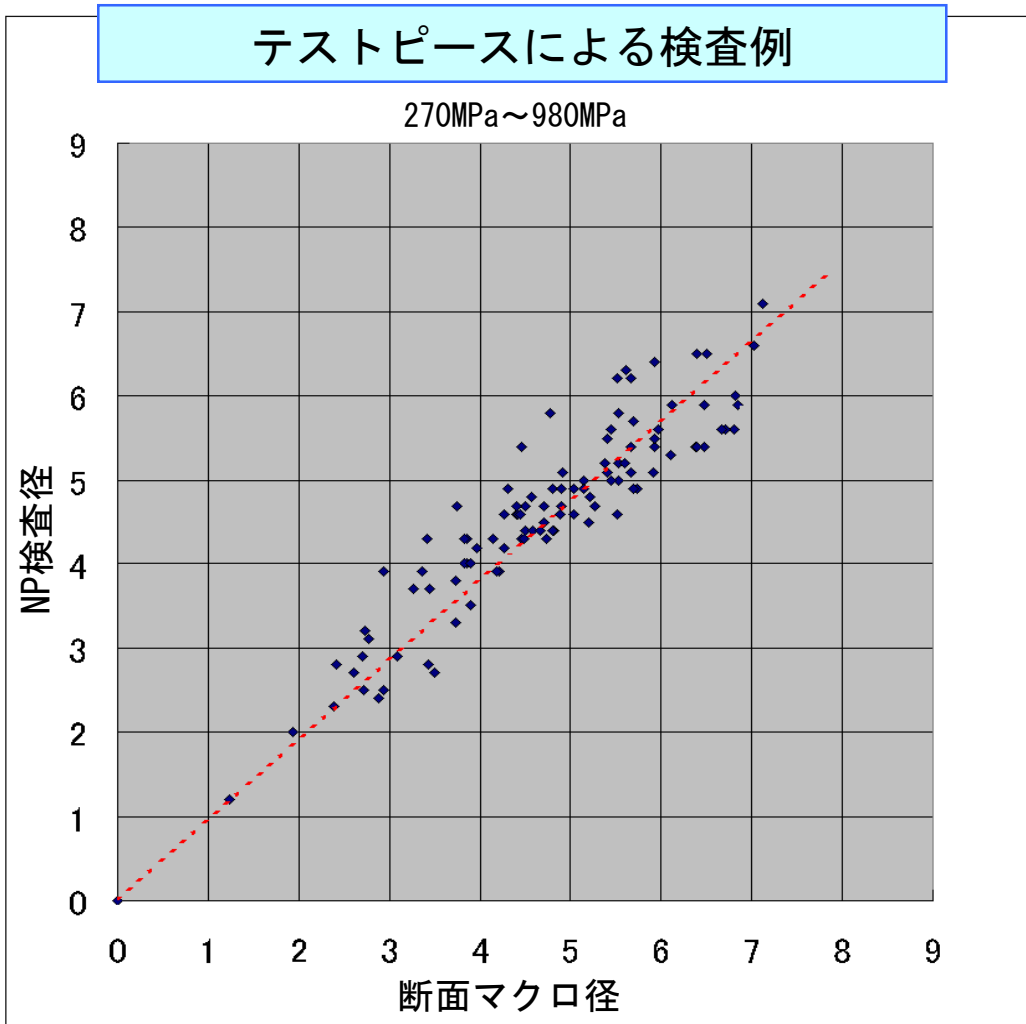
# 13. 他の検査方法との比較

	ナゲット プロファイラー	超音波方式	ドライバチェック たがね試験
検出内容	金属組織の変化量	音響インピーダンス 変化点までの距離	機械的強度
検査対象物	鉄のみ	鉄、非鉄金属	鉄、非鉄金属
検査可能場所	○: 検査面周辺に 凸が無い箇所 (センサ接触面積18x10mm)	◎: 単一タイプ ○: アレイタイプ	△ 工具の入らない 箇所は不可
ナゲットの定量化	○	×: 単一タイプ △: アレイタイプ	×
圧接との区別	○ (定量値の比較による)	△	○
検査物へのダメージ	無し	水、ジェルの 拭き取りが必要。 ⇒金属腐食	曲がりが生じ、 叩き戻しが必要。 ⇒金属疲労
3枚板の検査	△ (表裏から検査) 26, 27ページ参照	○	△ (表裏から検査)
ハイテン材への適用	○	○	△ (溶接部に亀裂の恐れ有)
検査時間	○	△	◎
トレーサビリティ	○	○	×

# 14. ドライバチェックとの比較

	従来検査	提案
	ドライバーチェック	ナゲットプロファイラー
	2値	傾向
検査結果	※溶接径に関わらず 剥がれるか、剥がれないか。	※基準品(破壊試験品:品質保証品)に 比べ溶接径変動の目安(大小)を表示。 ※溶接径を測定する装置ではありません。
検査種別	検査対象にダメージあり。 準破壊検査	検査対象にダメージなし。 非破壊検査(出荷製品で検査可能)
検査記録	記録が残らない。 実際に検査が行われたか? 検査結果がどうなのか? の記録が残らない。	電子ファイルを自動で出力。 検査日時、結果が自動で保存される。
品質管理	記録が無いので管理不可。	同一打点での安定度を確認。 製造工程が不安定かの確認に繋がる。
対象拡大	高張力鋼板に対し、検査不可。 工具が入らない場所多数。	高張力鋼板でも検査可能。
作業者負担	騒音が大きい。 手首に負担(腱鞘炎)がある。	修練が必要である。
コスト	高張力鋼板は廃棄。	将来的に破壊試験間隔の 延長の可能性あり。
将来性	—	将来的にロボットによる自動検査 の可能性あり。

# 15. 推定ナゲット径と破壊検査の相関



NP検査径(本装置の検査径)はマクロ径を対象としております。

溶接径の大小関係は以下です。

マクロ径 < 引き剥がし径 < ツイスト径

※破壊径はコロナボンド(10ページ参照)を含むため、実際のマクロ径より大きくなります。



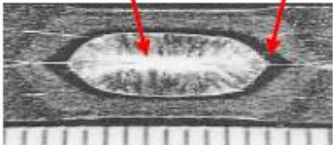
# 16. 装置仕様

製品タイプ		可搬型		据置型
型式		NPH03D	NPH03B	NPF02
本体外形(いずれも突起部除く)		230(W) × 195(D) × 65(H) mm	285(W) × 205(D) × 70(H) mm	350(W) × 255(D) × 100(H) mm
重量		1.91kg	2.32kg	5.40kg
画面表示部		7inch	10inch	13.3inch
溶接検査部	検査溶接径	3mm～7mm [インデケーション径 8mm以下; 有効センサ幅11mm] (上記範囲外も対応できる可能性有り、要相談)		
	被検査板厚(検査面1枚の厚さ)	0.7mm～2.3mm (左記範囲外も対応できる可能性有り、要相談)		
	被検査板種	270～1280MPa (左記範囲外も対応できる可能性有り、要相談)		
	被検査板表面処理	無処理、電気亜鉛メッキ、溶融亜鉛メッキ (アルミメッキは要相談)		
	被検査板組数	2枚, 3枚 (両面からの検査を推奨)		
	センサ先端材質	FR		
PC部	データ保存	XLS形式		
	検査条件設定	検査画面にて設定 (設定内容はファイルに保存可)		
	判定方法	OK/NG判定、推定ナゲット径		
	オプション	ナビモード、検査記録管理		
	OS	Windows10(日本語以外は言語パックで対応) ※ソフトウェアは日本語と英語と中国語に対応しております。		
動作温度範囲		5℃～40℃		
動作湿度範囲		～80%RH (結露なきこと)		
電源		以下2パターンを切替えて使用可能 ①AC 85V～240V、0.5A ②バッテリー (単3型Ni-MH充電電池 8本)		AC85V～240V、0.5A

商品の仕様は、改良のため予告なく変更することがありますので、予めご了承下さい。

## 17. 補足資料：磁気抵抗に影響を及ぼす要因

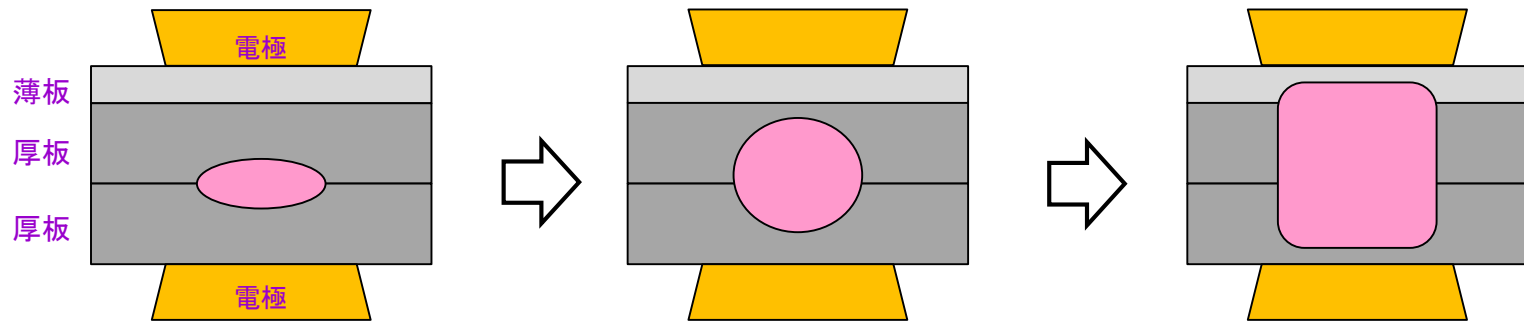
ノウハウ

影響要因		S/N	内 容	ノイズ対策
金属組織		S: 信号	<p>溶接により鋼板の組織が変態します (マルテンサイト変態)。 ナゲット(溶融凝固)部分は磁気抵抗が高くなります。 ナゲット周辺母材)部は磁気抵抗が低いままです。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; width: 40%;"> <p>[ナゲット(溶融凝固)部]</p> <p>金属組織 =密 磁気抵抗 =高い 透磁率 =低い</p> </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; width: 40%;"> <p>[ナゲット周辺部]</p> <p>金属組織 =粗 磁気抵抗 =低い 透磁率 =高い</p> </div> </div> 	—
母材	含有金属	N: ノイズ	母材の材料に使われている金属の種類や含有量および鋼板の厚さ。	左記5項は、同じ溶接位置なら母材状況も形状も同じであるので、溶接打点毎にパラメータを設定する事で解決できる。  設定した打点毎のパラメータは「モード」を使用する事で自動的に読み出せる
	表面メッキ	N	鋼板表面のメッキの種類や厚さ。	
	応力	N	切断、殴打、屈曲、引延ばし等で鋼板に機械的な応力が入り、磁気抵抗が変化する(プレス加工)。金属が残留磁化する場合もある。	
	特殊加工	N	ホットスタンピング材など。	
形状	センサー接触	N	鋼板の形状により、センサーの接触度合いが左右される。センサーが同じ接触状況なら問題ない。	ヘコミ量は溶接条件(加圧、電流、サイクル)に依存するので、同じ溶接位置なら溶接条件も同じである。またヘコミ量が薄くなった場合、溶接自体も不良に近づいたとも判断できる。
	表面ヘコミ	N	溶接部の表面のヘコミ量。ヘコミはインデケーションとも呼ぶ。ヘコミ量が多いほど、磁気抵抗が高くなる。	

取得信号からS(信号)とN(ノイズ)を分離する事はできませんが、  
**同じ溶接位置の検査結果を比較**する事で、溶接品質の**変動を管理**できます。

# 18. 補足資料：3枚板の溶接について

3枚板を溶接する際、以下のようにナゲットが形成されます。



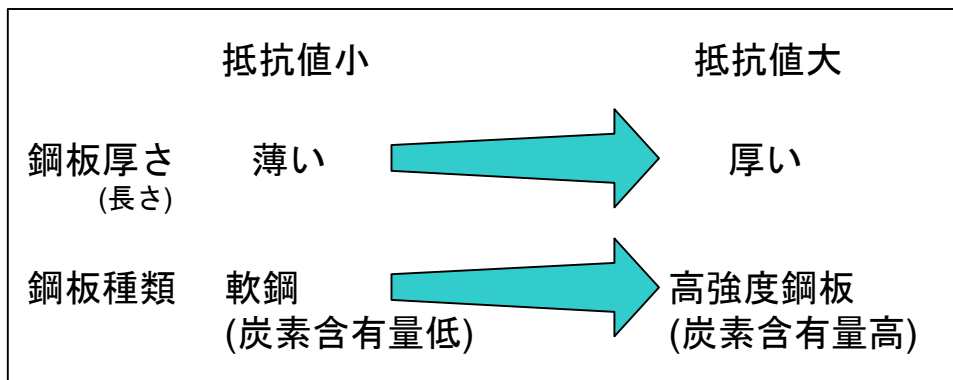
## 【3枚重ね鋼板のナゲット形成順番】

- ・厚板/厚板間から始まり、薄板/厚板間の順番
- ・高強度鋼板同士から始まり、軟鋼板-高強度鋼板の順番  
→電気抵抗の高い箇所からナゲット形成が始まる。

## 【引用元】

溶接学論文集  
第35巻(2017)第1号 他

## ○鋼板厚さと種類の電気抵抗



$$R = \rho \frac{l}{A}$$

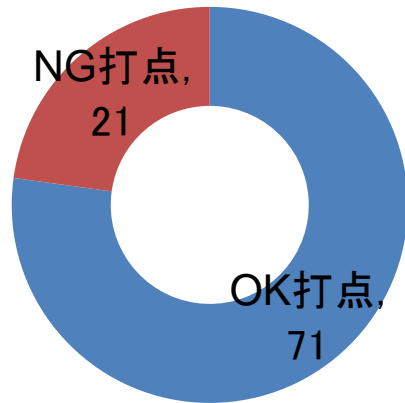
R=電気抵抗  
ρ=電気抵抗率  
l=長さ  
A=断面積

鉄鋼材料の種類	電気抵抗 ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )
炭素鋼(Cが0.1%:S10C相当) …	14.2
炭素鋼(Cが0.2%:S20C相当) …	16.9
炭素鋼(Cが0.4%:S40C相当) …	17.1

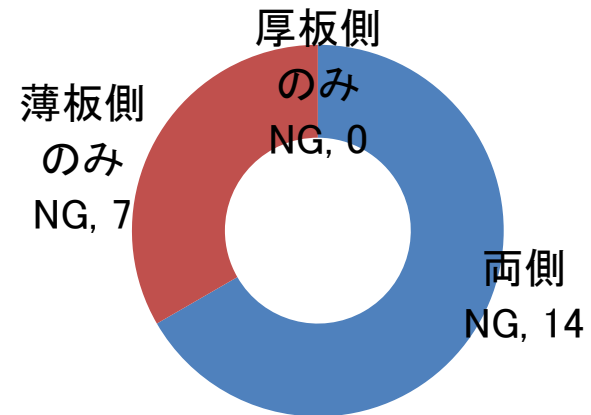
## 18. 補足資料：3枚板の溶接について

3枚重ね溶接92点についてカットチェック検査を行い、溶接状態を確認しました。

3枚板カットチェック OK-NG打点比率



NG打点内訳



### [カットチェック検査]

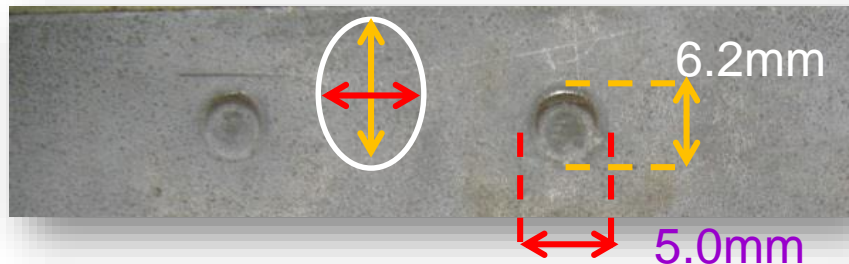
カットチェック検査とは実際にサンプルを破壊し、溶接系を測る検査方法。

# 19. 補足資料：センサ向きを登録する理由

センサを当てる向きによって検査径が変わる理由を以下5点に示します。  
 検査径への影響の大きさは 理由1>2>3>4>5 の順です。  
 ※ただし、ナビモード機能により、以下5点の影響を受けないようにします。

## 理由1. ナゲットが真円でない

溶接ガンの接触角度等に依存します(ロボットのティーチングに依存)。



断面図

## 理由2. センサとサンプルの接触具合

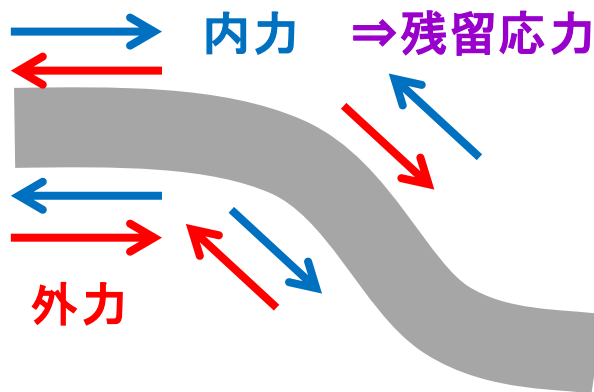
サンプルは平らではないため、センサ向きにより当たり方が変わります。  
 そのため、打点ごとにセンサの当てやすい方向を登録し、検査を行います。



### 理由3. プレスの方向（残留応力の方向）

スポット溶接（焼き入れ）により鉄に歪みが発生します。  
ナゲットプロファイラーは鉄の歪みの情報を検査します。

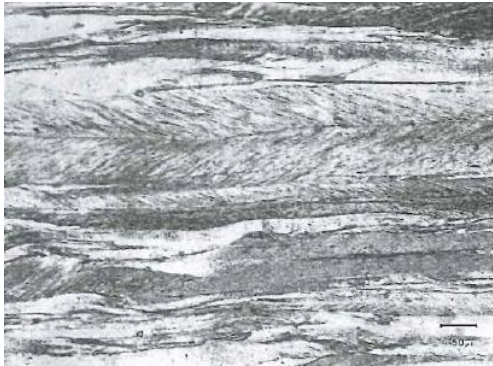
また、プレス（鉄を曲げる・引っ張る）も鉄に歪みが生じます。  
そのため、プレス方向が検査結果に影響を与えます。



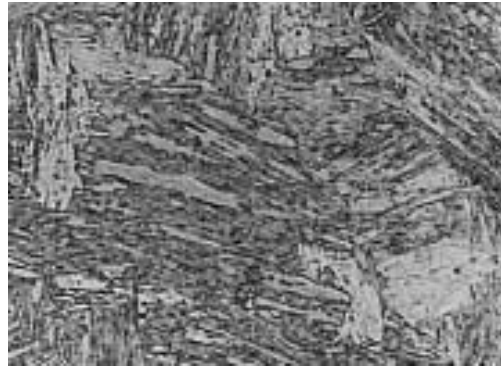


#### 理由4. 圧延による影響

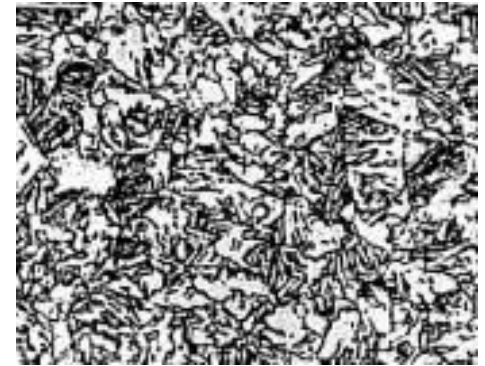
鋼板は圧延過程で組織が一定方向に引き伸ばされており、磁気特性もその影響を受けます。



母材部分



溶接部分(良品)



溶接部分(不良品=圧接)

#### 理由5. 鋼板の磁気異方性

鋼板の磁気（磁壁）に向きがあります。  
磁気の通りやすい方向、通りにくい方向が存在します。

## 20. 補足資料：ナビモードについて

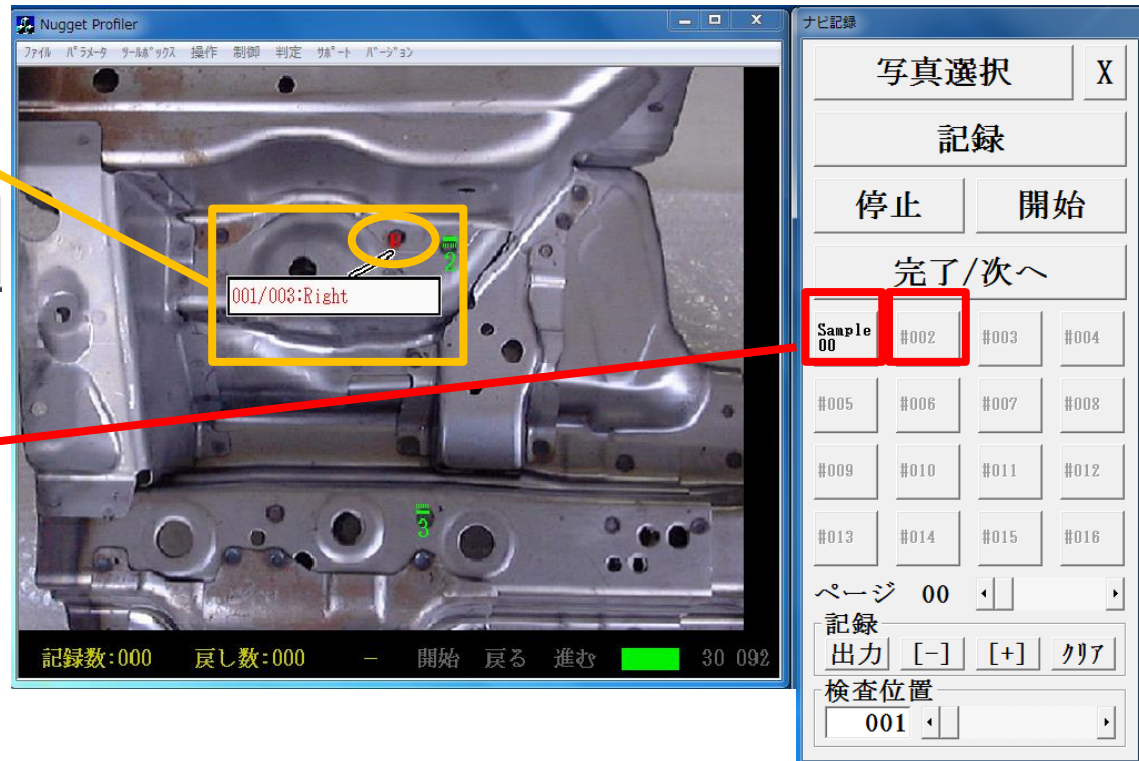
ナゲットプロファイラーに打点の位置・センサの向きを登録します。  
ナビモードを使用することで、検査時には写真・検査方法を表示します。

- ・ 打点の位置
- ・ センサ方向

001/003:Right

を表示

- ・ サンプルごとに設定を登録可能
- ・ 1タッチで検査を開始



この機能により、前記の理由1. 2. 3. 4. 5の影響を受けないようにします。  
また、検査作業者が迷うことなく作業できます(図面の確認が不要)。