



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：2014年03月17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

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。
- ③ センサーを軽く当てて検査します。
- ④ 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、水などの媒体が必要です。)



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。

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
- ・ トレーサビリティが可能
- ・ 高張力鋼（ハイテン材）の検査が可能

<ドライバーチェックの問題点>









- ・ 普通鋼材：ナゲット周辺に曲がりが生じ、金属疲労が（270MPa, 440MPa）発生する。
- ・ ハイテン材：ナゲットかその周辺に亀裂が生じ、検査する（780MPa以上）事で溶接強度が低下する。



4. 運用用途例（装置の目的）

4.1. 運用用途例 生産ライン

本装置は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）します。
 本装置の目的は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です。
 ※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> $4\sqrt{t}$ [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> $4\sqrt{t}$ [mm] など	<項目> DC
提案	<項目> 破壊径計測 <基準> $4\sqrt{t}$ [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> $4\sqrt{t}$ [mm] など + <項目> NPで数値化	<項目> NP

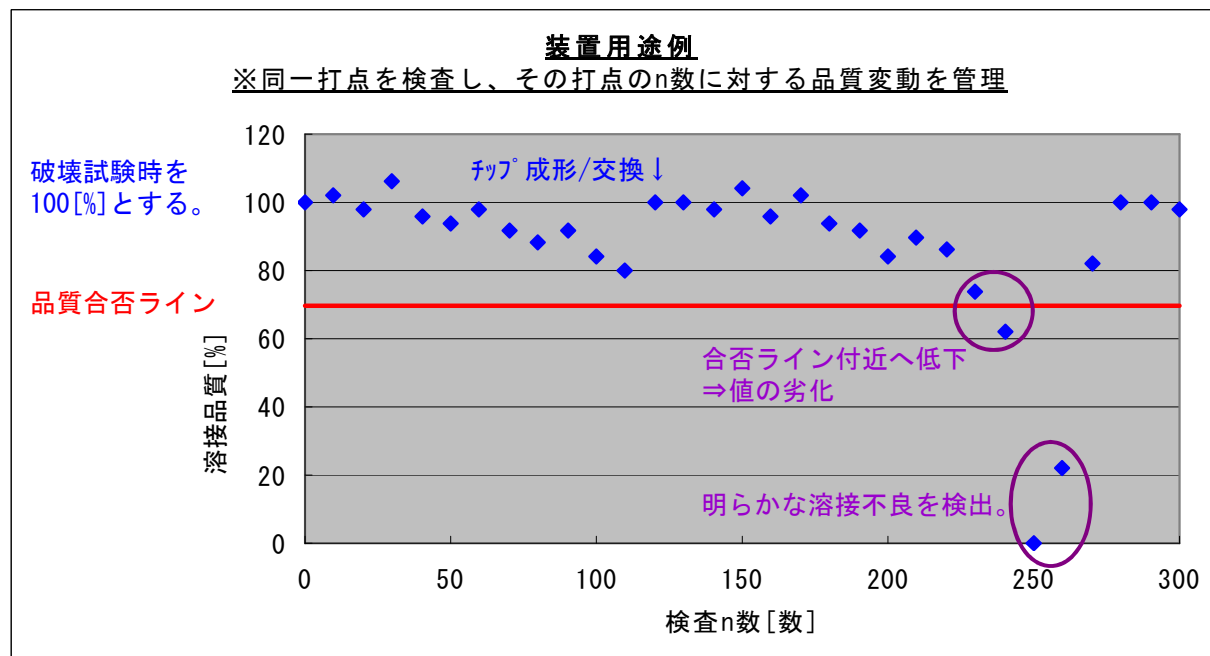
4.2. 運用用途例 ～前ページの続き～

前ページの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も御利用頂けます。

(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。

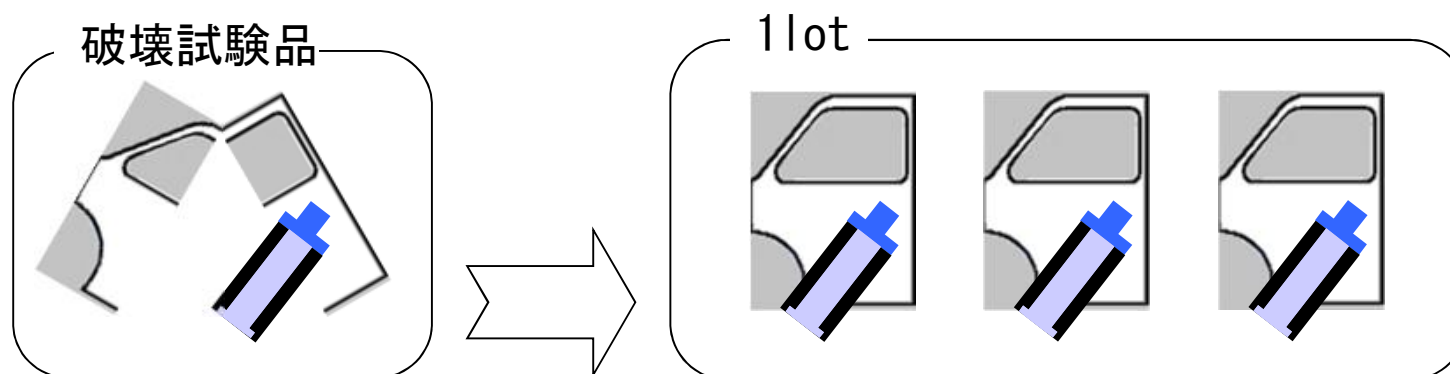
破壊試験時に『本装置が数値化した値』と『実際の溶接径』をパラメータで関連付ける必要があります。

4.3. 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)。

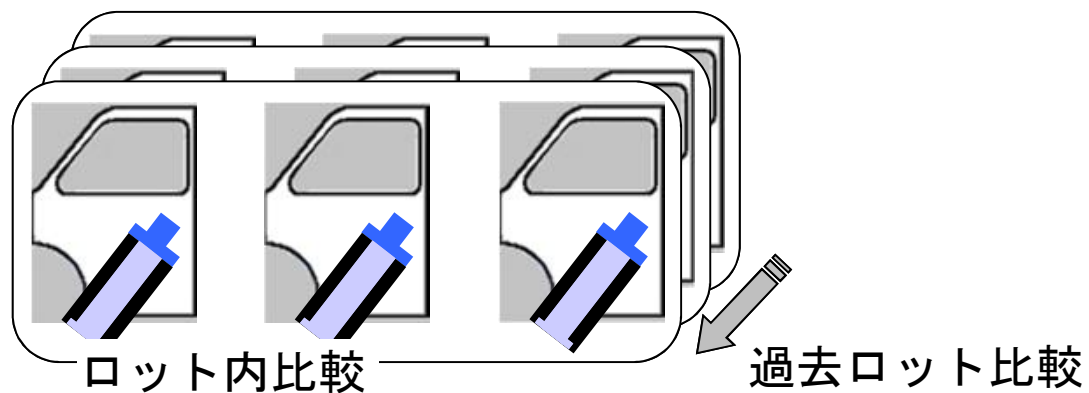


4.4. 運用用途例 受入検査

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。

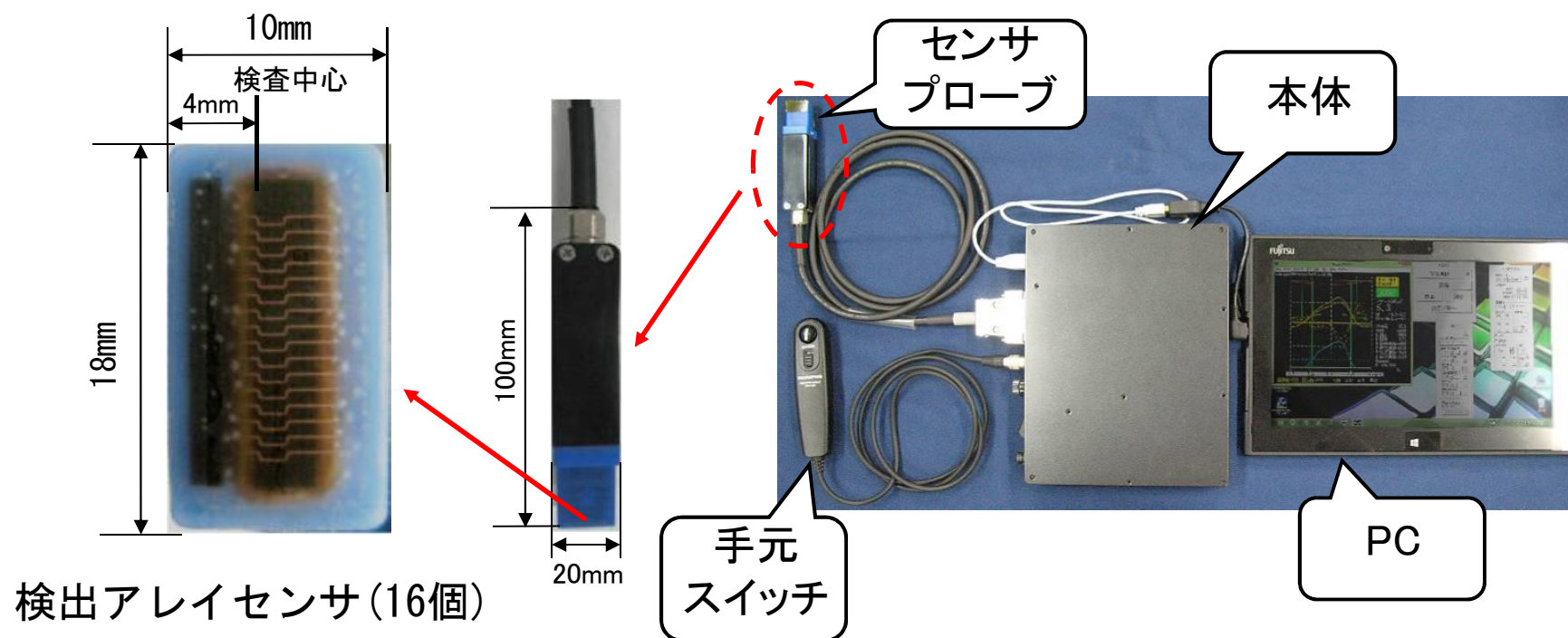
過去ロット比較 : 過去のロットと品質が同等であることを確認します。



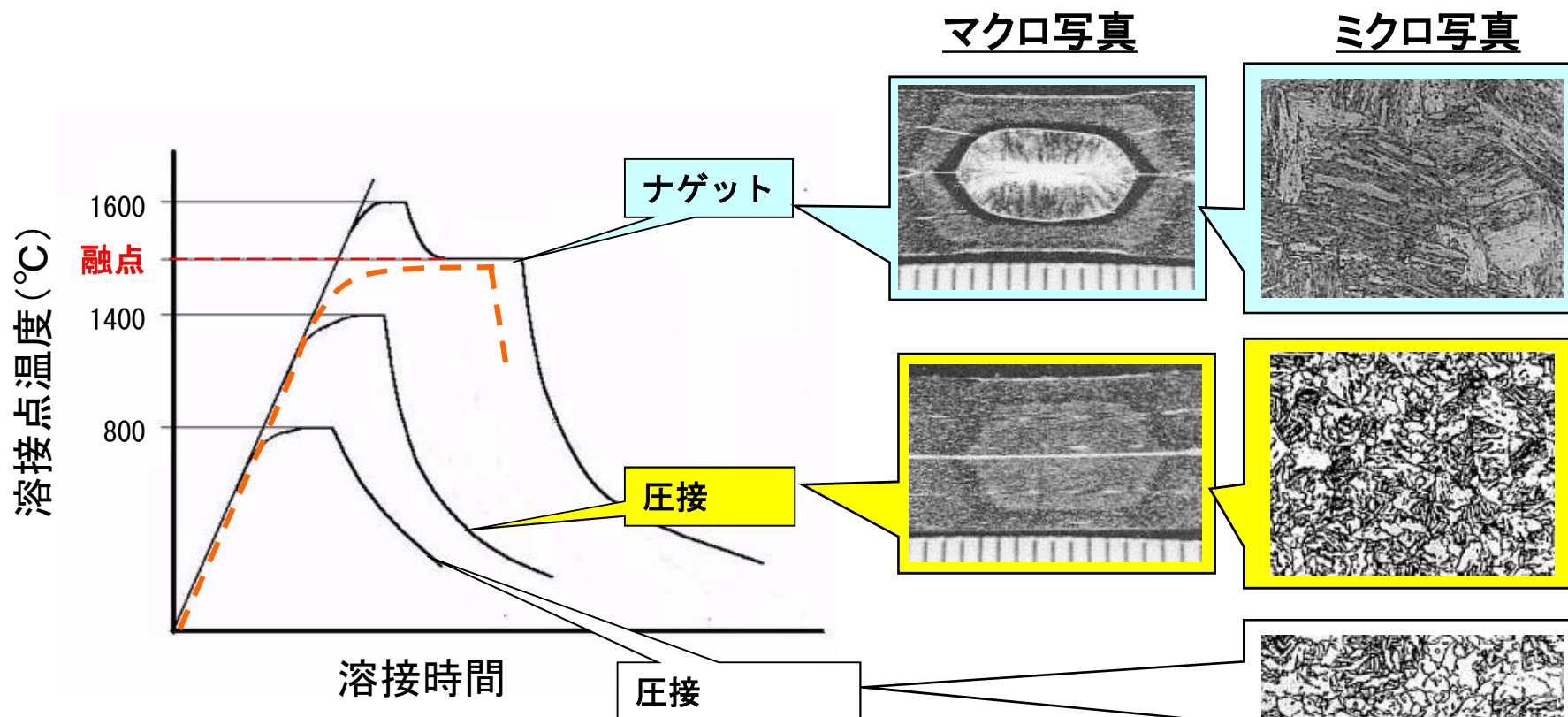
5. 装置構成

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



6. ナゲットと圧接のマクロ写真



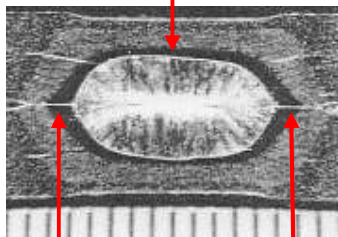
ナゲット(溶融凝固)部は素材の組織が変化します。
 これにより金属が硬くなり溶接本来の目的を果たします。
 ⇒溶融凝固部分は組織がマルテンサイト変態(転移、炭素過飽和など)するため透磁率(磁束密度の発生量)が低下します。
 本装置はこの特性を用いて、磁気で検査を行っております。

7. 検査理論概要とセンサー構造

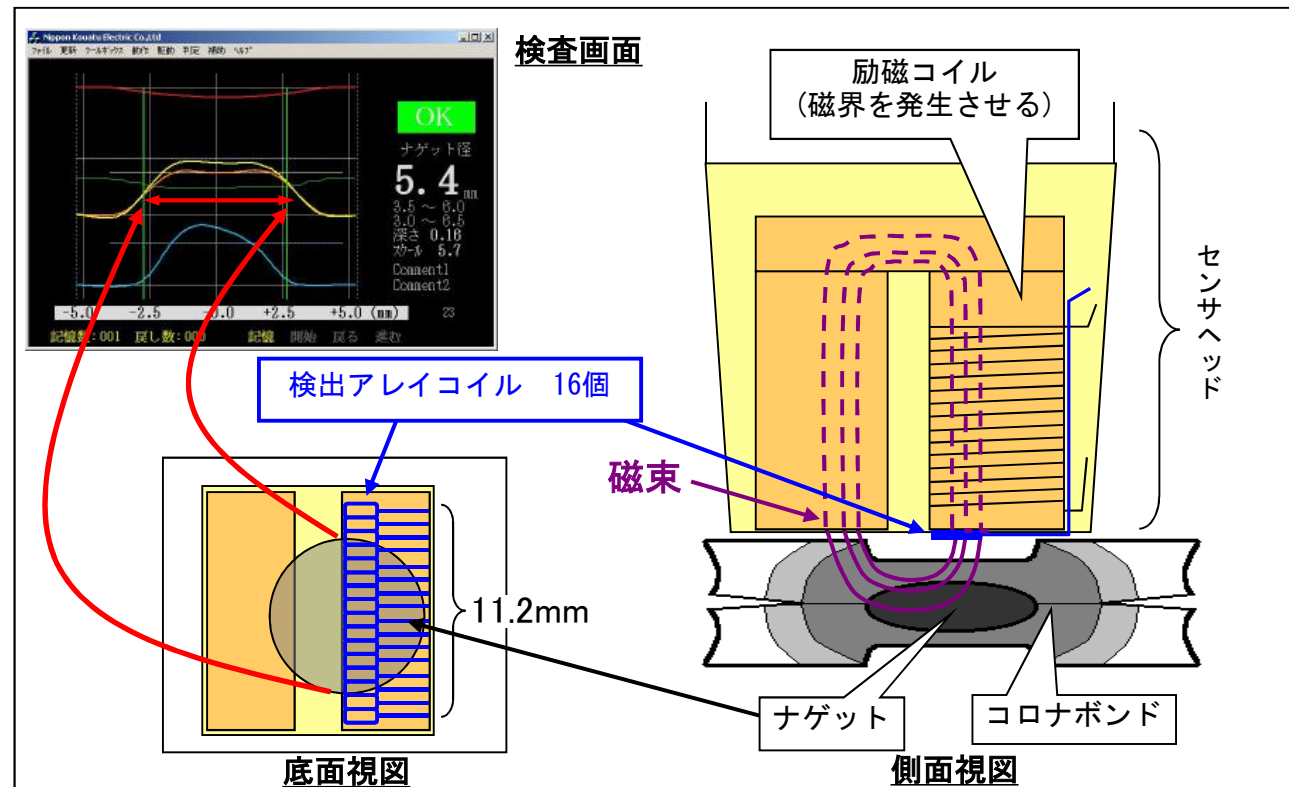
励磁コイルに電流を流す事により、励磁コイルを電磁石化させます。
 電磁石によって発生した磁界をスポット溶接内部に浸透させます。磁界により発生した磁束を急激に遮断させ、検出アレイコイルに誘導起電力を発生させます。
 この誘導起電力を検出信号として取得しております。
 検出アレイコイルが取得した『磁気抵抗の分布』をグラフ化する事により、ナゲットの定量化、および溶融凝固部の有無を判定しております。



[ナゲット(溶融凝固)部]
磁気抵抗 = 高い



[ナゲット周辺部]
磁気抵抗 = 低い

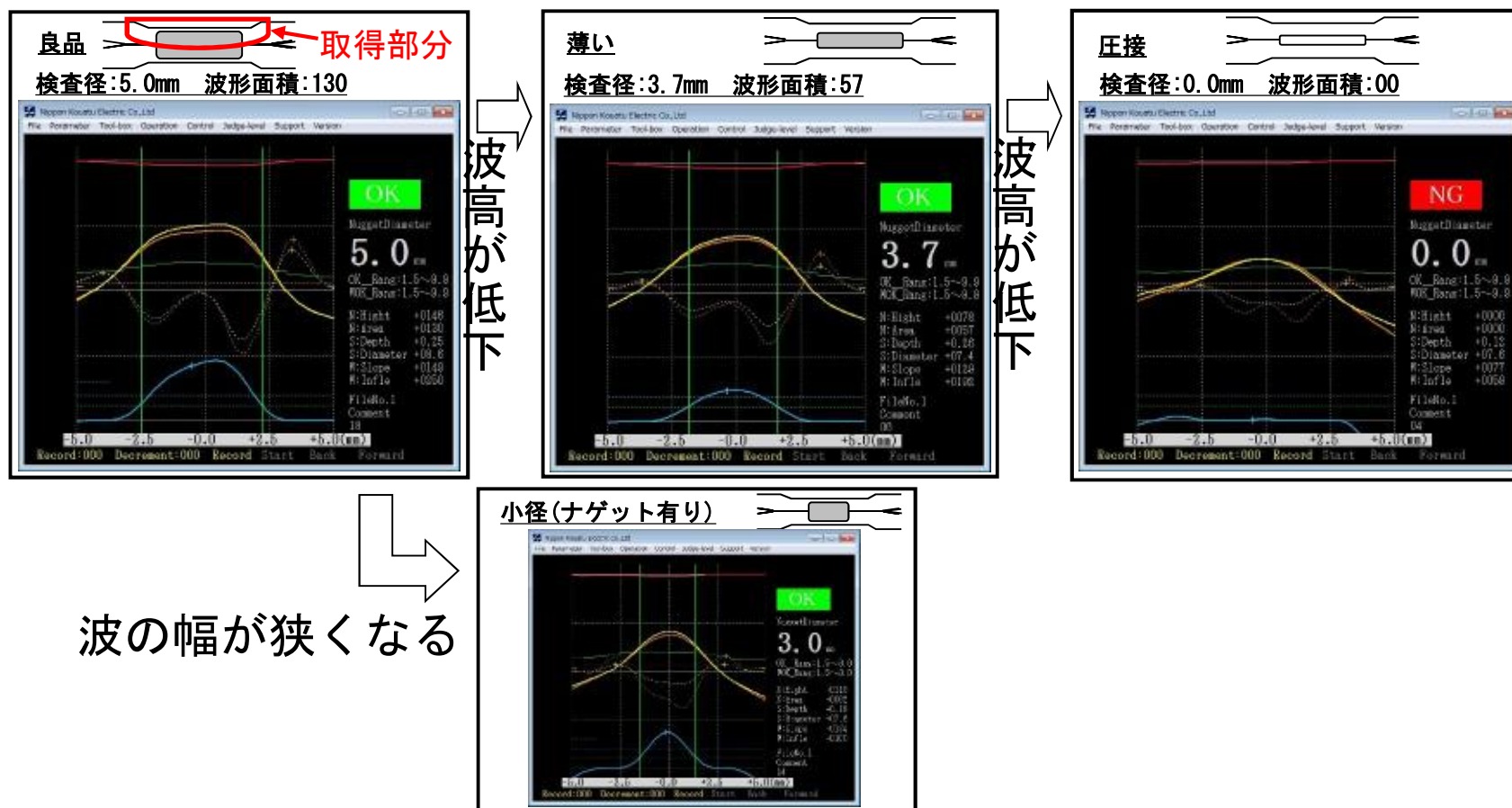


8. 溶接品質と検査値との比較

実際に磁気抵抗を取得しているのは下図の赤部分(1枚目から2枚目の間)になります。

溶接品質の変化により、検査波形が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の大きさも管理する事が必須となります。



9. 検査理論

9.1. 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、その透磁率は図に示すように
 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。

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

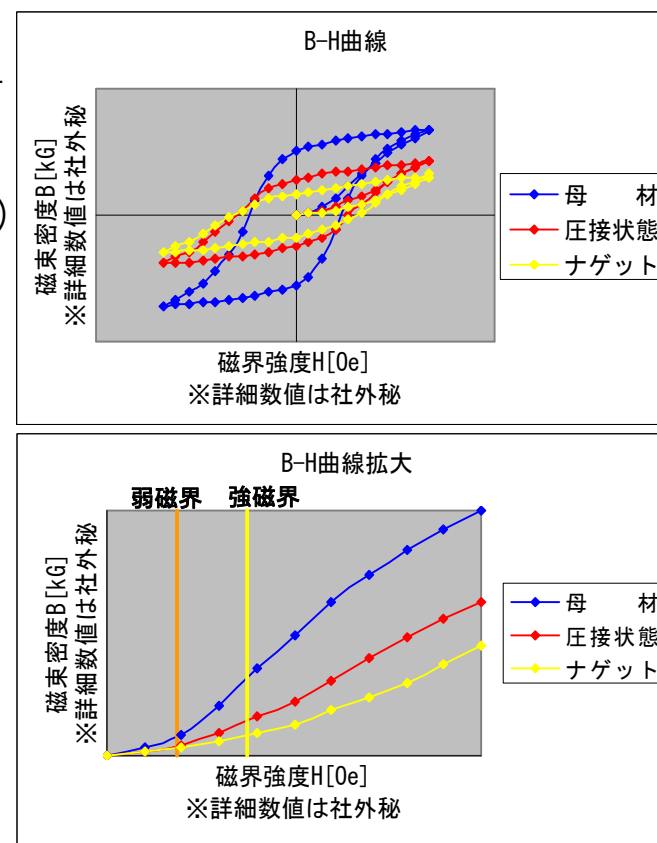
(2) 磁束密度Bと磁束Φの関係は次式です。

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

(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。

9.2. 解析方法1

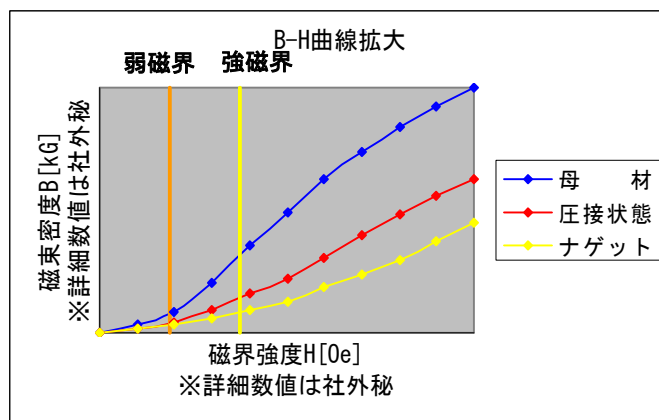
励磁コイルに流す電流量で磁界強度を操作できますので、磁界強度が弱い時(以下『弱磁界』)磁界強度が強い時(以下『強磁界』)の2パターンで信号を取得し、ナゲットの定量化、および溶融凝固部の有無を算出しております。

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。

9.3. 解析方法2

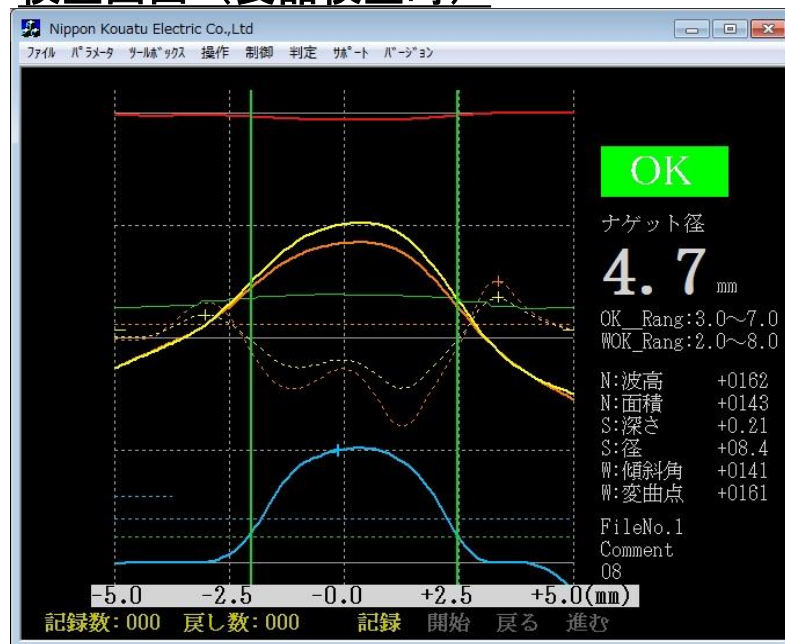
前ページで得られた検出値を元に、不良品(圧接状態)と良品(ナゲット)を検査した際の解析結果(検査波形)を下表に示します。

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。

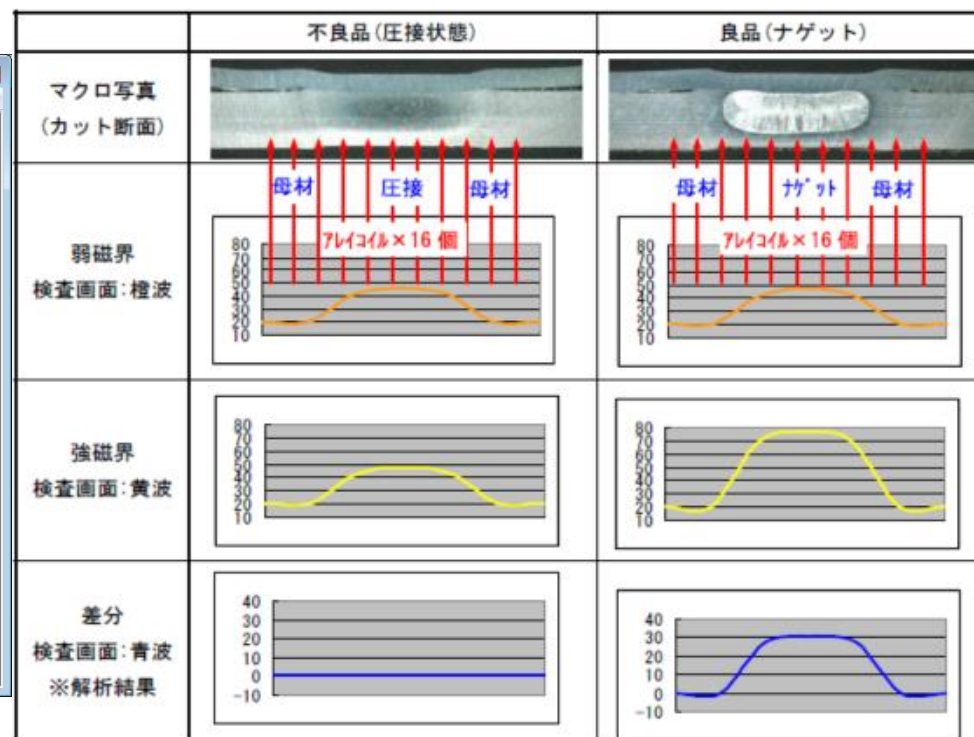
- ・ 不良品検査時⇒青波(差分)が平らもしくは低い山状になります。
- ・ 良品検査時⇒青波(差分)が高い山状になります。

※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)



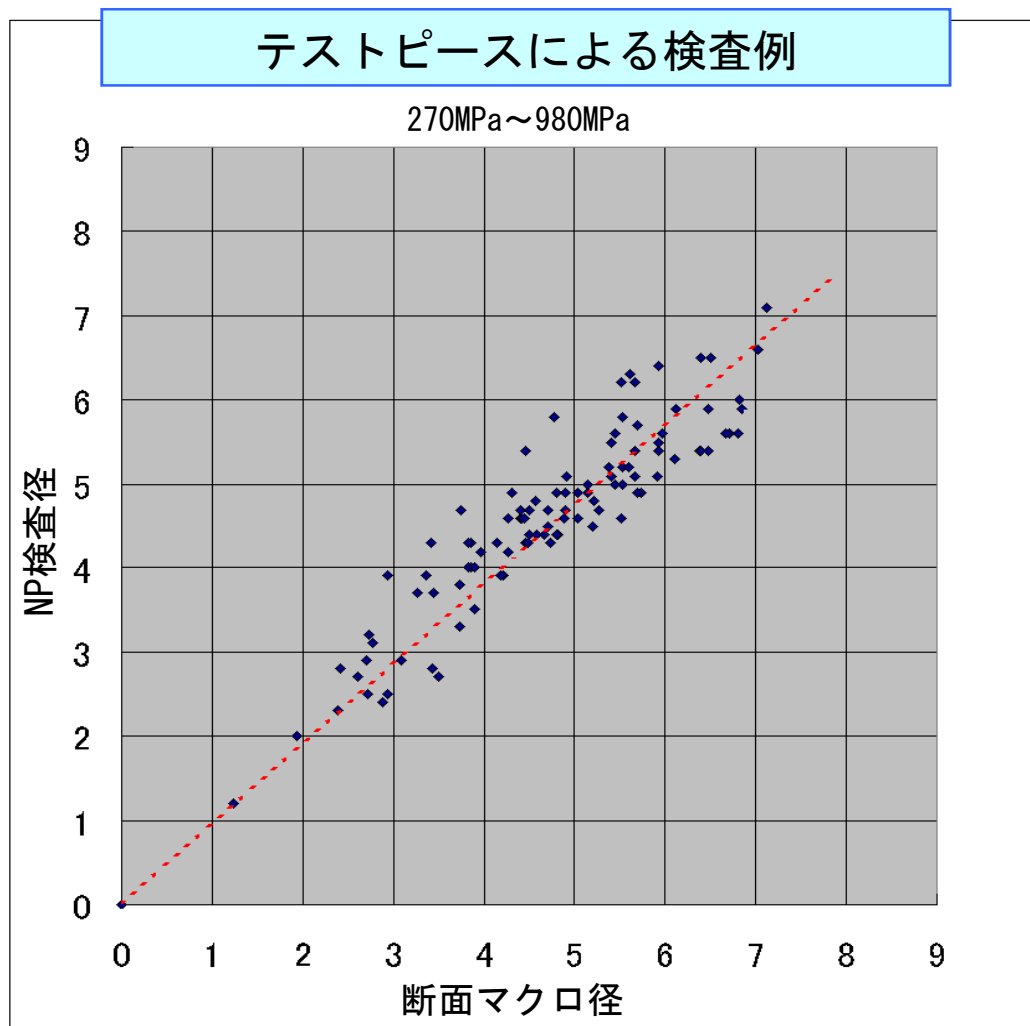
※赤線は表面形状を推測しております。



10. 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 (センサー接触面積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)	○	△ (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	○	○	×

11. 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

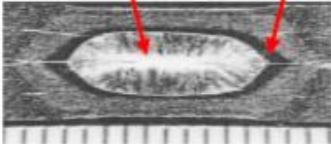
※破壊径はコロナボンド(10ページ参照)を含むため、実際のマクロ径より大きくなります。

12. 装置仕様

型式		NPF01	NPH02
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)	
対応チップ		R電極	
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		270～980MPa (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(両面からの検査が必要)	
センサ先端材質		FR	
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	
製品構成 および 寸法・重量	本体	350x255x100mm 重量 5.4kg	195x164x28mm 重量 約380g(バッテリー無) 約560g(バッテリー有)
	中継器	100x160x 40mm ケーブル長 10m 重量 350g (ケーブルは除く)	なし
	センサ	100x 20x 20mm ケーブル長 1.5m 重量	約200g (ケーブル含む)
	手元スイッチ	27x120x 20mm ケーブル長 1.0m 重量	約 80g (ケーブル含む)
動作温度範囲		5℃～40℃	
動作湿度範囲		～80%RH (結露なきこと)	
電源		AC85V～240V、0.5A	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 7本)

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。
Copyright © 日本高圧株式会社

13. 補足資料：磁気抵抗に影響を及ぼす要因 19/19

影響要因		S/N	内 容	ノイズ対策
金属密度		S: 信号	<p>溶接により金属が結晶化する事で金属密度に変化が発生します。</p> <p>ナゲット(熔融凝固)部分は金属密度が密になります。ナゲット部の密度が密になった分、その周辺の金属密度は粗になります。</p> <p><<結論>> 金属密度の差が明確に成る程、良質なナゲットが形成されていると判断できる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; border: 1px solid red; padding: 5px;"> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> <p>[ナゲット(熔融凝固)部] 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: 2px;"> <p>[ナゲット周辺部] 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(補足2参照)。
	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。	
	表面ヘコミ	N	溶接部の表面のヘコミ量。ヘコミはインデテーションとも呼ぶ。ヘコミ量が多いほど、磁気抵抗が高くなる。	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。

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。