

ミクロ損傷の非破壊検出法の開発

—バルクハウゼンノイズ法によるフェライト量検出試験—

1996年10月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-chō, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-Ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1996

ミクロ損傷の非破壊検出法の開発 —バルクハウゼンノイズ法によるフェライト量検出試験—

阪本 善彦*, 川崎 弘嗣*

要 旨

FBR の余寿命診断法の開発を行うために、材料の経年劣化を非破壊的に検出する手法の一つとしてバルクハウゼンノイズ（以下、BHN と記述）法による非破壊検出法の開発を実施している。本研究ではオーステナイト鋼中のフェライト量と BHN との相関を知ること、および Na 接液面におけるフェライト層の検出可能性を検討することを目的として、BHN 検出システムにより、フェライト含有量の異なる試料を用いた試験、および SUS304 の Na 浸漬試験片を用いた試験を実施し、以下の結論を得た。

- (1) フェライト量の既知の試料として Mod.9Cr-1Mo 鋼(F45-1)およびフェライトスコープ標準試料を用いた BHN 検出試験から、BHN 最大振幅値および周波数帯域面積をパラメータとして整理することによりフェライト量に対応した値が得られた。
- (2) BHN 最大振幅をパラメータとして整理した場合は、フェライト量が 10%以下になると試料をセンサーに当てていない状態でのノイズレベルとほぼ同じ値となり、検出は難しいことが分かった。周波数帯域面積をパラメータとして整理すると、10%以下のフェライト量でも相違が検出できた。
- (3) SUS304 の Na 浸漬試験片において BHN が顕著に検出された部分が存在した。SEM および EDS 分析により、その部分に表面から数 μ m の Ni 溶出によるフェライト化した層が観察された。これらの結果から、BHN 法は表面に分布したフェライト層の検出に有効であることが分かった。

Development of Nondestructive Techniques for Micro-Damages — Measurement of Ferrite Quantity by Barkhausen Noise Method —

Yoshihiko Sakamoto*, Hirotugu Kawasaki*

ABSTRACT

For the establishment of life and residual life evaluation method for FBR, the development of nondestructive technique by barkhausen noise (hereafter referred to as BHN) method has been carried out as one of the method of detecting damages in materials nondestructively. In this study, two examinations using the specimens which contained various quantities of ferrite and which was SUS304 steel exposed in sodium was carried out by use of BHN system for the purpose of clarifying the relation between BHN and the ferrite quantity in austenite steel and investigating the possibility of detecting a ferrite layer in sodium exposed surface respectively. The results is as follows.

- (1) The values corresponding to the ferrite quantity was obtained by use of the parameter of the BHN maximum amplitude and the area of frequency band as a result of the examination using the specimens which the ferrite quantity was known such as Mod.9Cr-1Mo steel (F4 heat) or the standard specimen for ferritescope.
- (2) In the case of using the parameter of the BHN maximum amplitude, it was difficult to find ferrite below 10%, because the value of BHN maximum amplitude was as same as noise when no specimen was attached to the BHN sensor. In the case of using the parameter of the area of frequency band, ferrite below 10% could be detected as different values from the noise.
- (3) BHN was detected remarkably at a part in the specimen of SUS304 steel exposed in sodium. The ferrite layer caused by dissolution of Ni was observed in the region of a few micron depth from surface at this part. As a result, the BHN method is a effective method to detect a ferrite layer in a surface of materials.

*)Structure Safety Engineering Section, Oarai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

目 次

1. まえがき	1
2. フェライトに着目した材料劣化の様相	2
3. BHN 検出試験条件	3
3.1 装置構成	3
3.2 供試材	3
3.2.1 フェライト量検出試料	3
3.2.2 SUS304 の Na 浸漬試験片	3
3.3 BHN 検出試験方法	4
4. 試験結果および考察	5
4.1 フェライト量による BHN 波形の相違	5
4.2 SUS304 の Na 浸漬試験片の BHN 検出試験	5
4.2.1 BHN 検出試験およびフェライト量測定	5
4.2.2 SUS304 の Na 浸漬試験片の SEM 観察および EDS 分析結果	6
5. まとめ	8
6. 今後の課題	9
謝 辞	10
参考文献	11

図表一覧

表 1 BHN センサーおよび構成機器の仕様および使用条件	12
表 2 BHN 検出試験試料	13
図 1 バルクハウゼンノイズ検出システム構成図	14
図 2(1) Mod.9Cr-1Mo 鋼(F4Cr-1)の BHN 検出波形	15
図 2(2) フェライトスコープ標準試料(105%)の BHN 検出波形	16
図 2(3) フェライトスコープ標準試料(29.6%)の BHN 検出波形	17
図 2(4) フェライトスコープ標準試料(9.4%)の BHN 検出波形	18
図 2(5) フェライトスコープ標準試料(1.4%)の BHN 検出波形	19
図 3(1) Mod.9Cr-1Mo 鋼(F4Cr-1)の BHN 検出波形および FFT 結果	20
図 3(2) フェライトスコープ標準試料(105%)の BHN 検出波形および FFT 結果	21
図 3(3) フェライトスコープ標準試料(29.6%)の BHN 検出波形および FFT 結果	22
図 3(4) フェライトスコープ標準試料(9.4%)の BHN 検出波形および FFT 結果	23
図 3(5) フェライトスコープ標準試料(1.4%)の BHN 検出波形および FFT 結果	24
図 4(1) フェライト量と BHN 最大振幅との相関	25
図 4(2) フェライト量と周波数帯域面積との相関	26
図 5 Na 浸漬試験片の BHN 検出試験及びフェライト量測定位置	27
図 6(1) SUS304 の Na 浸漬試験片, A 部平行部側の BHN 検出波形および FFT 結果	28
図 6(2) SUS304 の Na 浸漬試験片, A 部ボタン部側の BHN 検出波形および FFT 結果	29
図 6(3) SUS304 の Na 浸漬試験片, B 部平行部側の BHN 検出波形および FFT 結果	30
図 7 SUS304 の Na 浸漬試験片の BHN 検出結果と図 4 との関係	31
図 8 フェライトスコープと BHN 検出装置のフェライト検出状態の違い	32
図 9 SUS304 の Na 浸漬試験片各部の断面 2 次電子像	33
図 10 SUS304 の Na 浸漬試験片各部の EDS 分析結果	34

1. まえがき

FBR の余寿命診断を行うためには、供用期間中に進行する材料の経年劣化を把握し、材料の劣化が有害な欠陥や破損に至るまでの寿命を予測する手法が必要である。この手法を開発するために寿命・余寿命診断法の開発を実施している。本研究開発は、材料中のキャビティ等のミクロ損傷が発生、成長するメカニズムを解明する「ミクロ損傷機構の解明」および材料中のミクロ損傷を非破壊で検出する手法を開発する「非破壊検出法の開発」の大きく二つの流れで実施されている。非破壊検出法の開発は現在、キャビティ、ミクロき裂、析出物の非破壊検出を対象とした超音波法による非破壊検出手法の開発およびオーステナイト鋼中のフェライト相を対象としたバルクハウゼンノイズ（以下、BHN と記述する）法による非破壊検出手法の開発を実施している。

BHN 法は強磁性体の磁化過程における磁区の不連続移動がノイズとなって現れる現象を利用したもので、試料内部の組織と密接な関係がある。現状では BHN 法は鉄鋼材料の応力の測定¹⁾²⁾³⁾、焼戻し脆化の非破壊評価⁴⁾、時効劣化やクリープ損傷計測⁵⁾⁶⁾、低サイクル疲労寿命評価⁷⁾等において適用性が検討されている。このため、BHN 法はその発生原理からオーステナイト鋼の経年劣化に伴うフェライト相のもしくはフェライト相中の組織変化を非破壊的に捉えられることが期待でき、非破壊検出手法の開発対象として選択された。

BHN 法による非破壊検出手法の開発は、高速炉で現在使用されている SUS304 や実証炉以降に適用が予定されている高速炉構造用 316(316FR)の経年劣化による損傷因子の一つとして考えられているフェライト相を対象しており、従来強磁性体の材料で研究が行われてきた BHN 法を常磁性体であるオーステナイト鋼中の少量のフェライト相に対して適用することを目的としている。本報告書では、フェライト量と BHN の相関を知るためにフェライト含有量の異なる試料を用いて試験を実施した結果、および SUS304 や 316FR がナトリウム（以下、Na と記述する）接液面においてフェライト化することに着目し、BHN 法による Na 接液面のフェライト層の検出可能性を検討するために SUS304 の Na 浸漬材の BHN 検出試験を実施した結果について報告する。

2. フェライトに着目した材料劣化の様相

寿命・余寿命診断法を開発するためには材料の破損機構を考慮する必要がある。ここでは、フェライト相に着目した破損機構について整理する。

SUS304へのNaの影響としては、Na中クリープ強度は大気中と同等、Na中疲労強度は大気中を上回っており設計上問題となっていないが、破損機構について考慮すると、実機においては材料表面に熱応力がかかるため、Na接液面のフェライト層が表面き裂発生の一因となり得ると想定される。また長時間の熱時効によりSUS304の粒界に $0.1 \mu m$ 以上の大さのフェライト相が析出して粒界の弱化に寄与すると考えられている。316FRの場合では、大気中に比べて1000~10000hr領域でのNa中クリープの強度低下、および低ひずみ範囲側におけるNa中疲労強度の低下傾向が見られるが、これはNa接液面における浸炭やNiの溶出による σ 相の粒界析出あるいは組織変化に伴う粒界の弱化が原因であると考えられている⁸⁾。ここで σ 相の析出について、Niの溶出により生成したフェライト相の分解による析出メカニズムが考慮されている。このようにフェライトはオーステナイト鋼の経年劣化を評価する上で重要である。BHN法ではフェライト中の組織に起因する信号が得られるためフェライト量だけでなく、フェライト相中に発生する析出物等の情報を含んだ信号が得られることが期待できる。

3. BHN 検出試験条件

3.1 装置構成

BHN は強磁性体に変動磁場を与えたとき、磁化の変化の過程で磁壁が不連続に移動することにより発生するノイズである。本試験ではこの BHN を捉え、材料の経年劣化を非破壊で検出することを目的として作成した BHN 検出システムを用いて実施した。図 1 に本試験で用いた BHN 検出システムの構成を示す。ファンクションシンセサイザ（信号発生器）で発生した正弦波信号を精密増幅器にて増幅し、励磁コイルに正弦波電流を印加する。そして、ピックアップコイルで検出した信号をプリアンプで増幅した後、ハイパスフィルタを通してデジタルストレージスコープで波形の観察を行い、デジタル値を計算機に収集して波形解析を行う構成となっている。センサーはコの字形の硅素鋼板を重ねたコアに導線を巻いた励磁コイルと 1mm ϕ のフェライトコアに導線を巻いたピックアップコイルから成る。センサー及び構成機器の仕様および条件を表 1 に示す。

3.2 供試材

3.2.1 フェライト量検出試料

フェライト量の違いによる BHN 波形の違いを検出するために、フェライトスコープ（フィッシャー製フィッシャースコープ MMS、TM85 モジュール、プローブ:EGAB1.3-FE）の標準試料および Mod.9Cr-1Mo 鋼鍛鋼品（F4ヒート）の衝撃試験片を用いた。表 2 に使用した試料およびフェライトスコープの測定値を示す。フェライトスコープの標準試料はフィッシャー社にて基準とする試料と同じ磁束密度を検出するようにステンレス鋼のバルク材を選定して用いているとのことである。

3.2.2 SUS304 の Na 浸漬試験片

SUS304 の Na 浸漬材表面の脱 Ni によるフェライト層の形成を BHN により検出するため、SUS304 の Na 浸漬試験片を用いた。このフェライトスコープの測定値を表 2 に示す。

3.3 BHN 検出試験方法

励磁コイルに周波数 600Hz、励磁電流 150mA の正弦波電流を流し、試料表面に励磁コイルおよびピックアップコイルを組み合わせたセンサーを治具により固定して接触させた。ピックアップコイルより検出された信号を増幅後、20kHz に設定したハイパスフィルタを通して低周波成分を除去し、デジタルストレージスコープで波形の観察を行った。また得られた波形をサンプリングレート 5M サンプル/sec.(200nsec. 間隔)、16kword(16384 点)のデータ長で計算機に取り込み、BHN 最大振幅測定および周波数帯域面積測定を行った。BHN 最大振幅は励磁正弦波の半波形分すなわち $833 \mu \text{ sec.}$ (データ点で 4167 点分) の範囲を BHN の山を中心に取り、その範囲の最大値と最小値の差を 3 山分 (計 3 点) 取った。周波数帯域面積の測定は、同じく半波形分を BHN の山を中心に取り、フーリエ変換(FFT)を行い、900kHz までの周波数帯域面積を 3 山分 (計 3 点) 測定した。またフェライトスコープによるフェライト量測定では 1 つの試料に対し 10 点測定して平均値を求めた。

4. 試験結果および考察

4.1 フェライト量による BHN 波形の相違

図 2(1)～図 2(5)にフェライトスコープ標準試料および Mod.9Cr-1Mo 鋼の BHN 検出波形を示す。図よりフェライト量の少ない試料ほど BHN の大きさも小さくなっていることが分かる。図 4(1)に横軸にフェライト量を縦軸に BHN 最大振幅をとった図を示す。図よりフェライト量と BHN 振幅に相関が見られたが、9.4% フェライト量程度で BHN はほとんどバックグラウンドノイズと同レベルの大きさとなり、それ以下のフェライト量では BHN の大きさからフェライト量の違いを検出することはできないことが分かった。図 3(1)～図 3(5)に得られた BHN 波形に対し FFT を実施した結果を示す。また、図 4(2)には横軸にフェライト量を、縦軸に BHN の周波数帯域面積をとった図を示す。図より傾向は BHN 最大振幅のものと同様であったが、データ点のばらつきは少なく、9.4% フェライト量の試料でも差が見られることが分かった。これらより、10%以下の低フェライト量については周波数帯域面積による整理が有効であることが分かった。

4.2 SUS304 の Na 浸漬試験片の BHN 検出試験

4.2.1 BHN 検出試験およびフェライト量測定

図 5 に本試験で用いた SUS304 の Na 浸漬試験片の外形図を示す。図に示す各点において、フェライトスコープによるフェライト量測定および BHN 検出試験を実施した。フェライト量測定結果については同図に示す。また各部の BHN 検出波形および FFT の結果を図 6(1)～図 6(3)に示す。Na 浸漬試験片全体としては図 5 の B 部に代表されるように、フェライトスコープによるフェライト量測定では 1%前後の値を示し、図 6(3)に見られるように BHN もほとんど検出されなかった。しかし、A 部ではフェライトスコープによるフェライト量測定において若干高い値を示し、さらに BHN は他の部位に比べて顕著に現れた。特に A 部の平行部側で高い BHN を検出し、ボタン部側へ移るにつれて次第に弱くなっていた。

図 7 に図 4(1)および図 4(2)と SUS304 の Na 浸漬試験片の BHN 最大振幅および周波数帯域面積の測定結果を比較した図を示す。測定結果は試験方法に記述した要領で

3点測定した平均値を使用し、図中に点線で示した。この図より、BHN 最大振幅による整理では A 部平行部側で約 60%、A 部ボタン部側で約 35% のフェライト量を、また周波数帯域面積による整理では A 部平行部側で約 40%、A 部ボタン部側で約 20% のフェライト量を示すことになる。しかし、フェライトスコープによるフェライト量測定では、図 5 に示すように A 部平行部側で 5.1%、A 部ボタン部側で 2.4% の値しか示さなかった。これはフェライトが一様に分散した試料と表面に分布した試料の相違が現れていると考えられる。

すなわち、図 8 に示すようにフェライト均質材では検出範囲内に一様にフェライトが分布しているため、フェライトスコープによる測定値と BHN パラメータの間で相関を持つと考えられるが、フェライトが表面に分布している場合は両者に検出深さの違いがあるため、均質材で得られたような相関を示さないと思われる。この場合、フェライトスコープの持つ 1mm 程度の検出深さより BHN システムの検出深さが浅いと仮定すれば、検出範囲内に入るフェライトの割合が BHN 検出試験の場合の方が多くなるので、本試験で得られたような結果を示すものと思われる。ただし、本試験で用いた BHN システムの検出深さに関しては未だ定量的な評価を行っておらず、今後の課題である。

4.2.2 SUS304 の Na 浸漬試験片の SEM 観察および EDS 分析結果

BHN 検出試験により、図 5 の A 部において高い BHN を検出した。これらの位置について SEM による断面観察および EDS 分析を実施した。図 9 は、SUS304 の Na 浸漬試験片の図 5 で示した各部における断面の 2 次電子像を示す。また図 10 にそれぞれの 2 次電子像で矢印で示した点について EDS 分析を行った結果を示す。2 次電子像からは、B 部平行部側と比較して A 部平行部側、ボタン部側共に縞状の模様が見られ、加工ひずみに起因する変質層と思われる組織が観察された。EDS 分析結果からは以下の情報が得られた。B 部平行部側の EDS 分析結果から、表面まで Ni のピークが認められ、表面から 5 μ m の位置における結果とほとんど変化がなかった。ちなみに表面から 5 μ m の位置の結果は十分母材側の位置で行った EDS 分析結果と同様の結果であった。一方で、A 部に関しては平行部側、ボタン部側共に表面において Ni はほとんど検出されず、表面がフェライト化していると推察された。また、表面から 5 μ m 程度の位置での EDS 分析結果からは母材と同様の Ni のピークが検出された。

これらの結果からは、表面のフェライト化は高々数 μ m の範囲であると推察される。しかしながら、B 部に比べて A 部においては顕著な変質層が観察されており、この BHN に対する影響についても可能性を否定できない。したがって本試験条件における BHN 検出深さを調査し、検出深さに影響を及ぼすと考えられる励磁電流、励磁周波数を変化させた試験を行い、BHN に影響を及ぼす組織因子を調査する必要がある。

5. まとめ

本研究は、オーステナイト鋼中のフェライト量とBHNとの相関を知ること、およびNa接液面におけるフェライト層の検出可能性を検討することを目的としている。そこで、BHN検出システムによりフェライト含有量の異なる試料を用いた試験、およびSUS304のNa浸漬試験片を用いた試験を実施し、以下の結論を得た。

- (1) フェライト量の既知の試料としてMod.9Cr-1Mo鋼(F4ビ-ト)およびフェライトスコープ標準試料を用いたBHN検出試験から、BHN最大振幅値および周波数帯域面積をパラメータとして整理することによりフェライト量に対応した値が得られた。
- (2) BHN最大振幅をパラメータとして整理した場合は、フェライト量が10%以下になると試料をセンサーに当てていない状態でのノイズレベルとほぼ同じ値となり、検出は難しいことが分かった。周波数帯域面積をパラメータとして整理すると、10%以下のフェライト量でも相違が検出できた。
- (3) SUS304のNa浸漬試験片においてBHNが顕著に検出された部分が存在した。SEMおよびEDS分析により、その部分に表面から数 μ mのNi溶出によるフェライト化した層が観察された。これらの結果から、BHN法は表面に分布したフェライト層の検出に有効であることが分かった。

6. 今後の課題

本試験により Na 接液面の変質層の検出を行うのに BHN 法が有効であることが分かったので、次に表面の変質層の厚みを定量的に評価するための試験を実施していく必要がある。そのために BHN 検出深さを評価する必要があるので厚みの既知なフェライト膜を用いて試験を行い、検出深さに影響を及ぼすと考えられる励磁周波数、励磁電流を変化させて変質層の厚みを評価する手法を確立していきたい。また、励磁周波数および励磁電流の条件を広くとれ、かつ周辺からの電磁波等の影響を受けない高感度低ノイズのセンサーの開発を行っていく必要がある。さらに、組織因子に対応する BHN の周波数成分についての調査、時間一周波数解析による BHN 発生のタイミングと組織との関係の調査などの周波数解析を中心とした検討により、フェライト中に生じた析出物やき裂の検出等の検討を行っていく予定である。

謝　　辞

本研究の遂行にあたり、BHN 検出システムの構築、データ解析プログラムの作成等に協力して頂いた、常陽産業（株）　菅谷全氏、およびSEM 観察、試料作成等に協力して頂いた、常陽産業（株）　鴨川浩一氏に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 古屋泰文,島田平八:「バルクハウゼンノイズ解析による材料強度評価－応力と材質の評価にむけて－」,非破壊検査,Vol.35,No.8,(1986),pp.532-537.
- (2) 北川茂:「バルクハウゼン効果雑音による応力測定」,日本機械学会関西支部第140回講習会教材,(1986),pp.41-51.
- (3) 古屋泰文,島田平八,伊藤勇一:「バルクハウゼンノイズと応力・ひずみ関係－二軸応力場での測定－」,非破壊検査,Vol.36,No.8,(1987),pp.530-534.
- (4) 小幡充男,伊藤勇一,古屋泰文,飯島活巳,福井寛:「バルクハウゼンノイズ法によるロータ材 3Ni-Cr-Mo-V 鋼の焼戻し脆化の非破壊評価」,日本機械学会論文集(A編),Vol.56,No.527,(1990),pp.1677-1684.
- (5) 野中勇,北川正樹,古屋泰文,小幡充男:「バルクハウゼンノイズによる 2.25Cr-1Mo 鋼の時効劣化およびクリープ損傷計測」,材料とプロセス,Vol.4,No.3,(1991),p.843.
- (6) 野中勇,北川正樹,古屋泰文:「バルクハウゼンノイズによる 2.25Cr-1Mo 鋼 HAZ 部のクリープ損傷計測」,材料とプロセス p.1856.
- (7) 古屋泰文,島田平八,山田浩司,鈴木智郎:「バルクハウゼンノイズ変化に基づく炭素鋼の低サイクル疲労寿命評価」,非破壊検査,Vol.41,No.4,(1992),pp.215-218.
- (8) 古川智弘,吉田英一,加藤章一:「316FR 鋼板の強度に及ぼす Na 環境の影響」,日本原子力学会「1996 春の年会」要旨集,(1996),p.305.

表1 BHNセンサーおよび構成機器の仕様および使用条件

名 称	使用機器	仕様および使用条件
センサー		
励磁コイル		コア:硅素鋼板(厚さ0.5mm×10枚)、導線:0.12mm×200回×2 (並列接続)、インダクタンス:0.65H、コイル抵抗:1.45Ω
ピックアップコイル		コア:1mm φ フェライトコア、導線:0.07mm×300回、 インダクタンス:550 μ H
ファンクション シンセサイザ	NF回路設計ブロック製 1915 ファンクションシン セサイザ	正弦波出力、出力電圧:0.1Vp-p、周波数:600Hz
精密増幅器	NF回路設計ブロック製 4502 精密増幅器	利得:1.5A/V、CC(定電流)モード
プリアンプ	NF回路設計ブロック製 SA-400F3 超低雑音差動増幅器	差動入力、入力インピーダンス:1kΩ 電源:NF回路設計ブロック製 SA-915D1 直流安定化電源
ハイパスフィルタ	NF回路設計ブロック製 E-3201B マルチファンク ションディケードフィル タ	入力結合:ACカップリング、利得:0dB、HPF設定:20kHz
デジタルストレージ スコープ	IWATSU製 DS-8606C デ ジタルストレージスコー プ	

表2 BHN検出試験試料

	試料	フェライトスコープ 指示値*
フェライト 均質材	Mod.9Cr-1Mo鍛鋼品(F4ヒート)	91%
	フェライトスコープ標準試料 105%	105%
	フェライトスコープ標準試料 29.6%	29.6%
	フェライトスコープ標準試料 9.4%	9.4%
	フェライトスコープ標準試料 1.43%	1.4%
フェライト 分布材	SUS304のNa浸漬材 (600°C、20000時間)	0.8～5.1%

* 10点測定した平均値

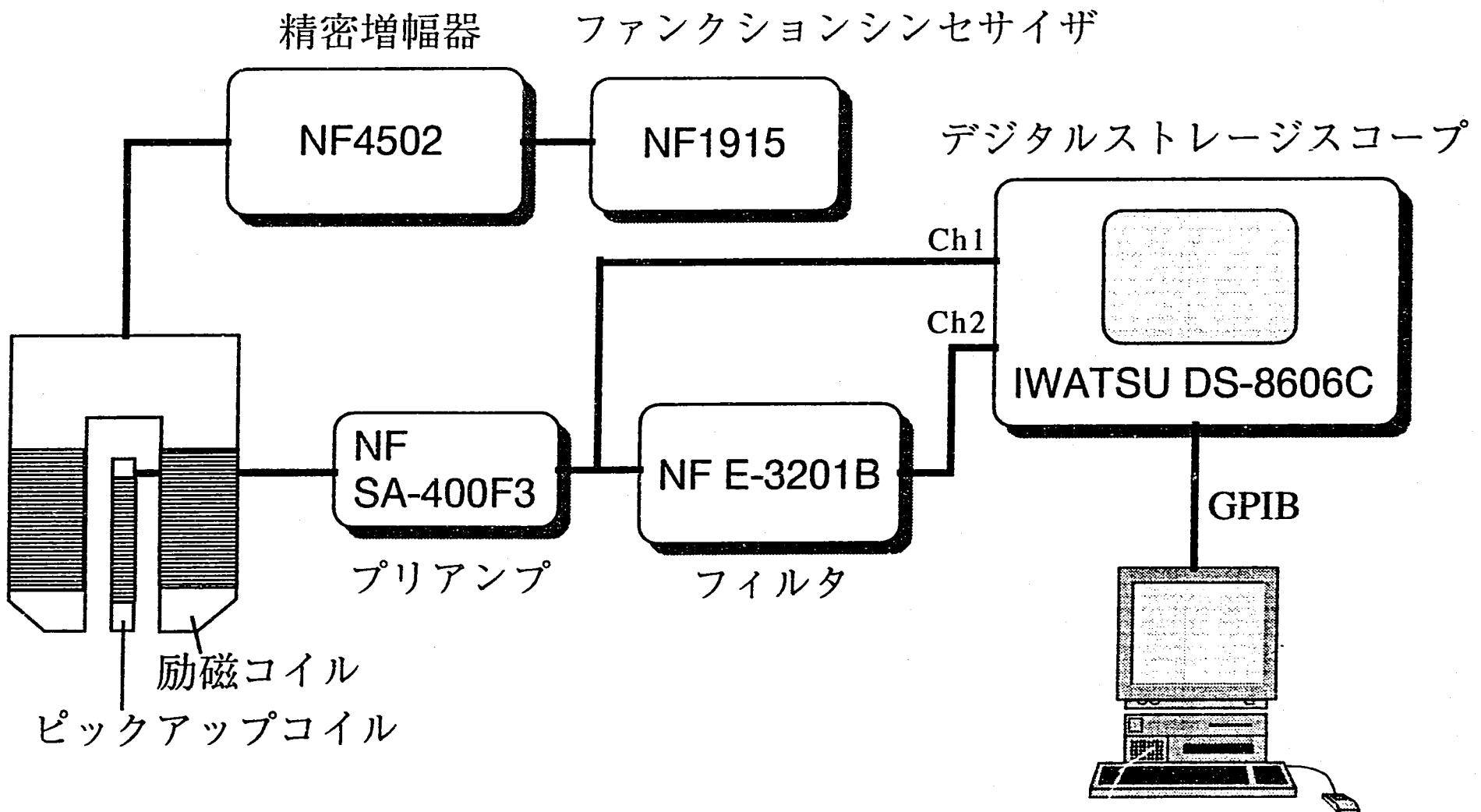
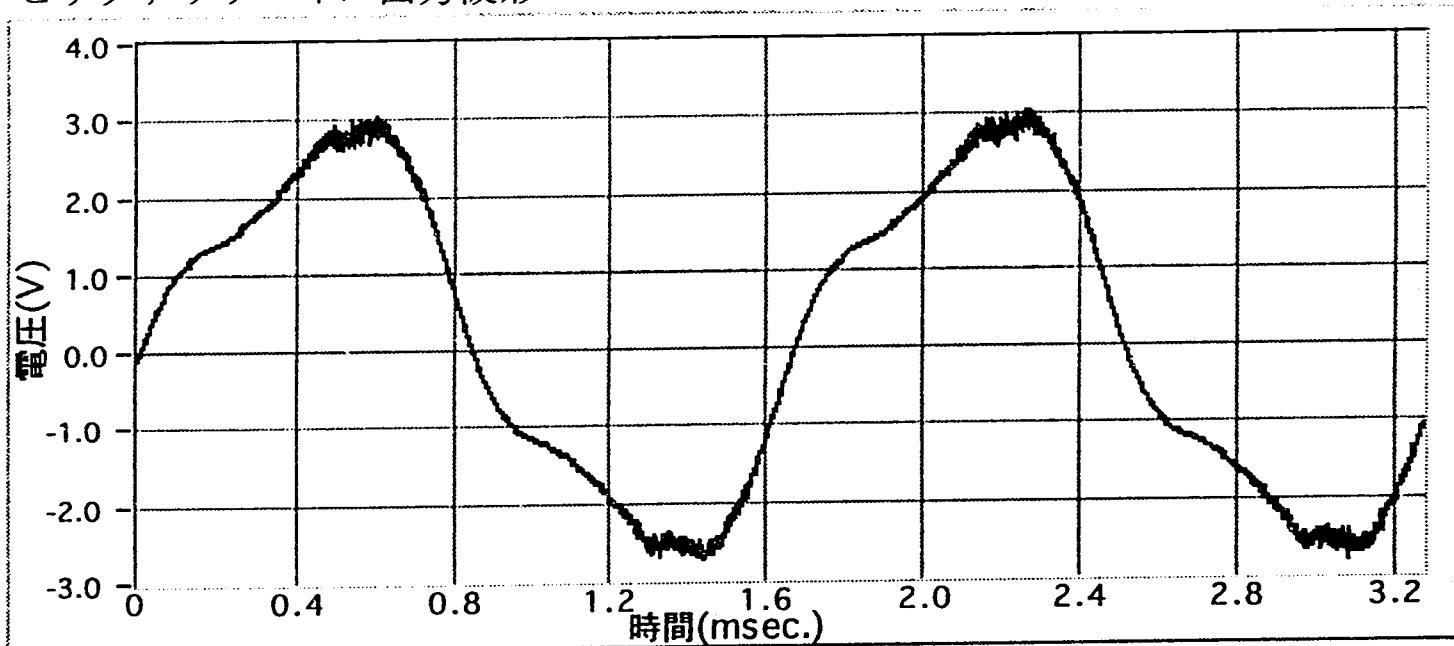


図1 バルクハウゼンノイズ検出システム構成図

試験条件
励磁周波数:600Hz
励磁電流:150mA

ピックアップコイル出力波形



BHN波形(HPF設定:20kHz)

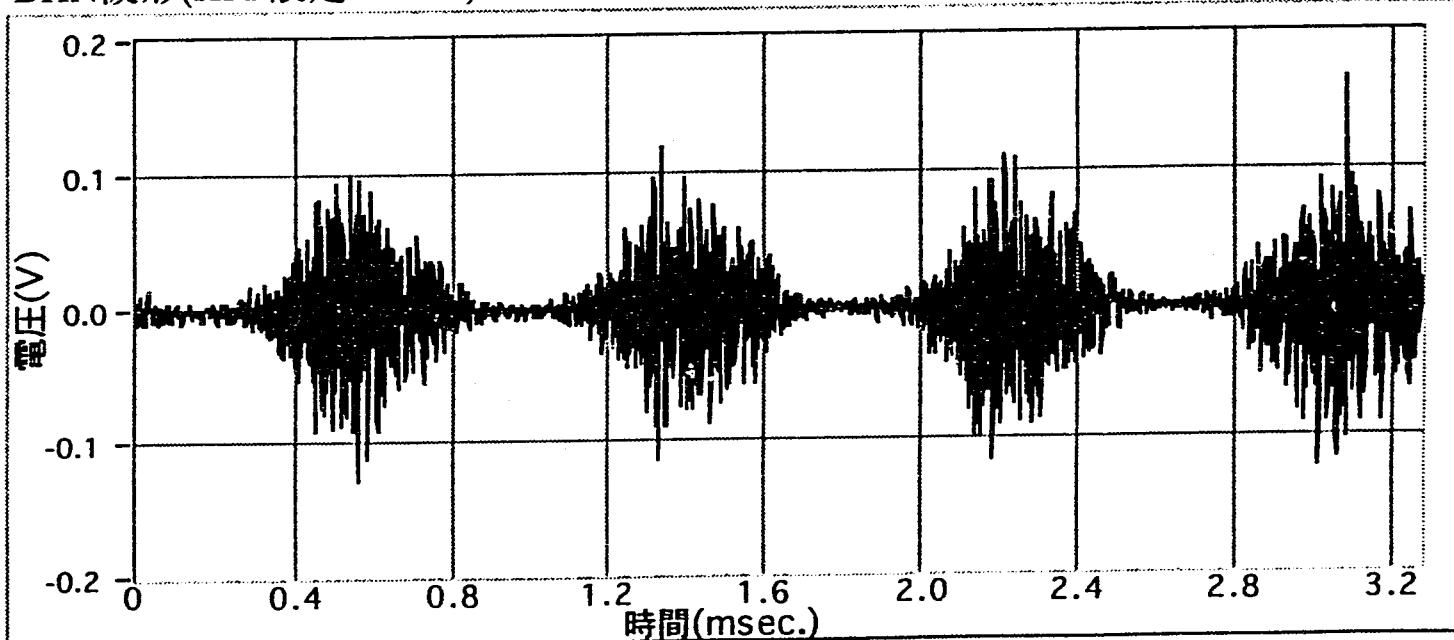
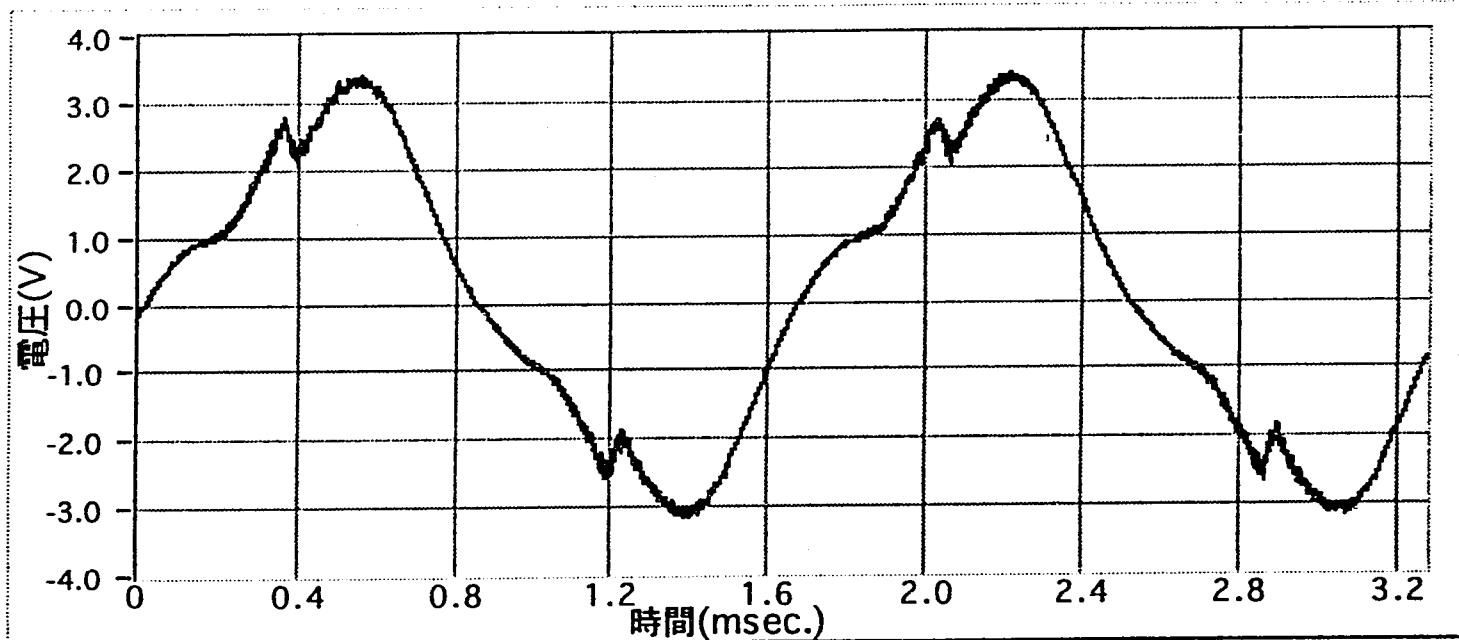


図2(1) Mod.9Cr-1Mo鋼(F4ヒート)のBHN検出波形

ピックアップコイル出力波形

試験条件
励磁周波数:600Hz
励磁電流:150mA



BHN波形(HPF設定:20kHz)

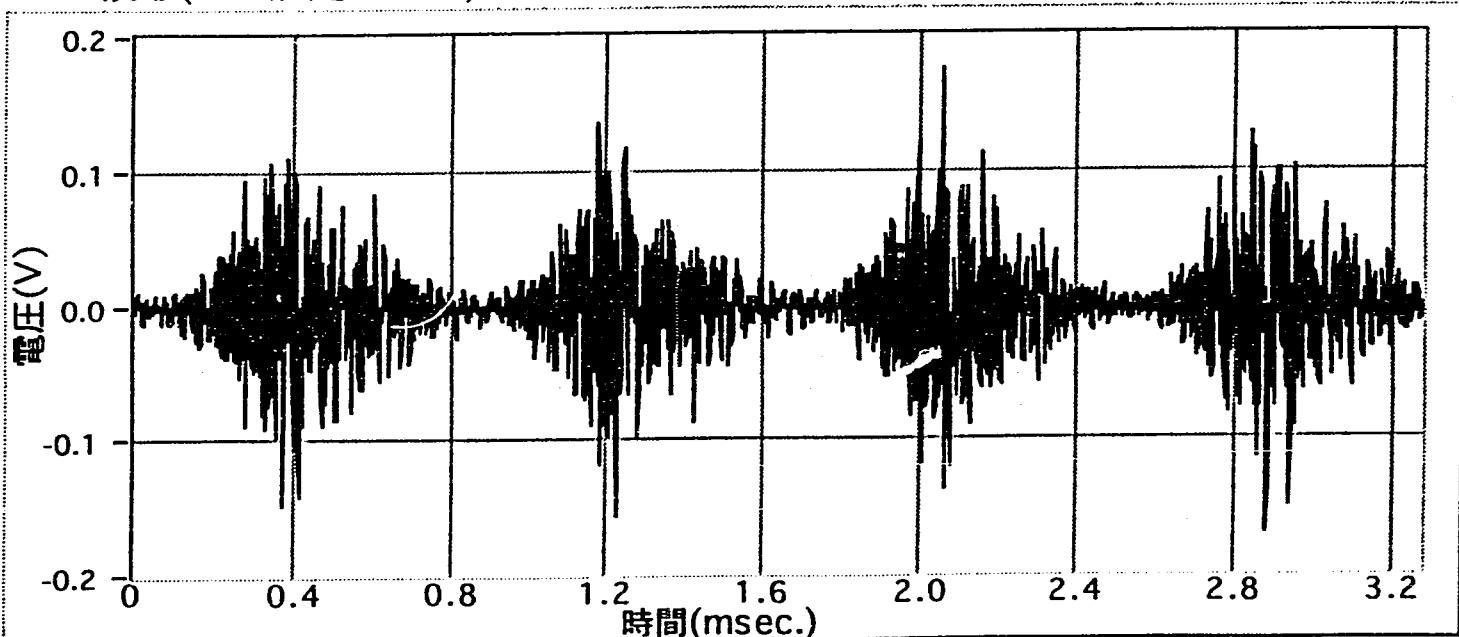
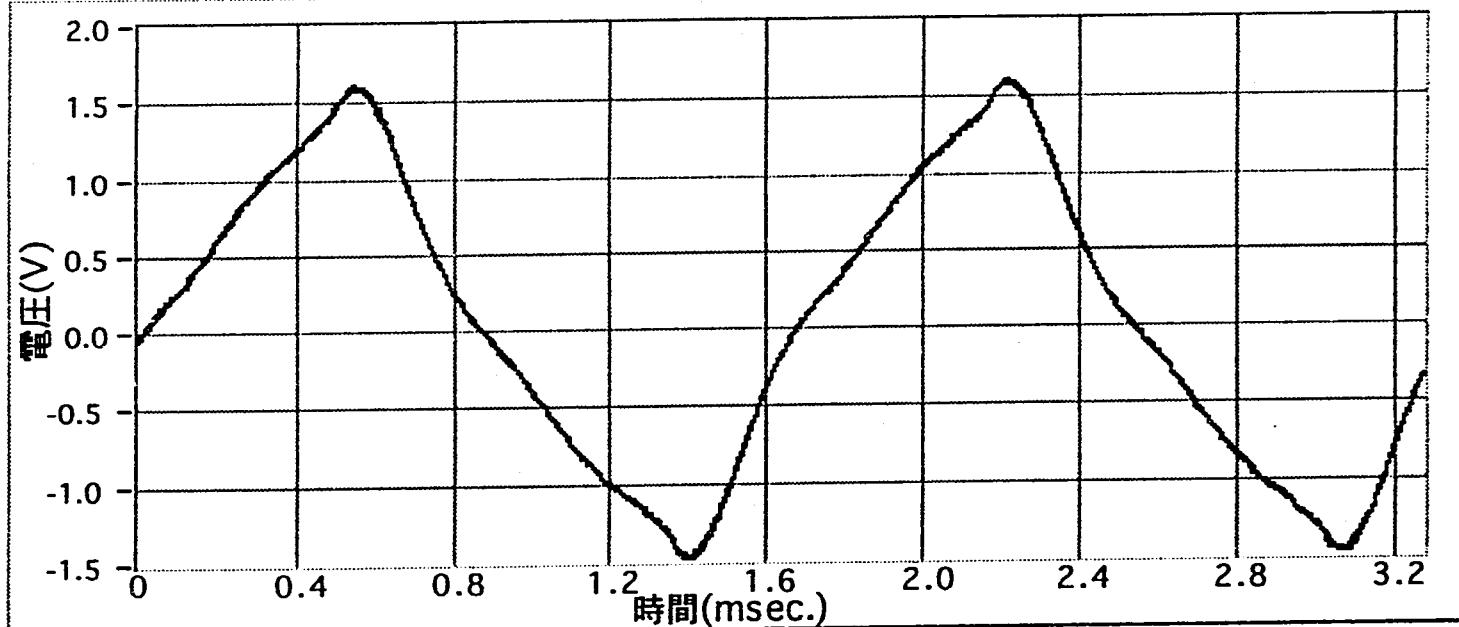


図2(2) フェライトスコープ標準試料(105%)のBHN検出波形

ピックアップコイル出力波形

試験条件
励磁周波数:600Hz
励磁電流:150mA



BHN波形(HPF設定:20kHz)

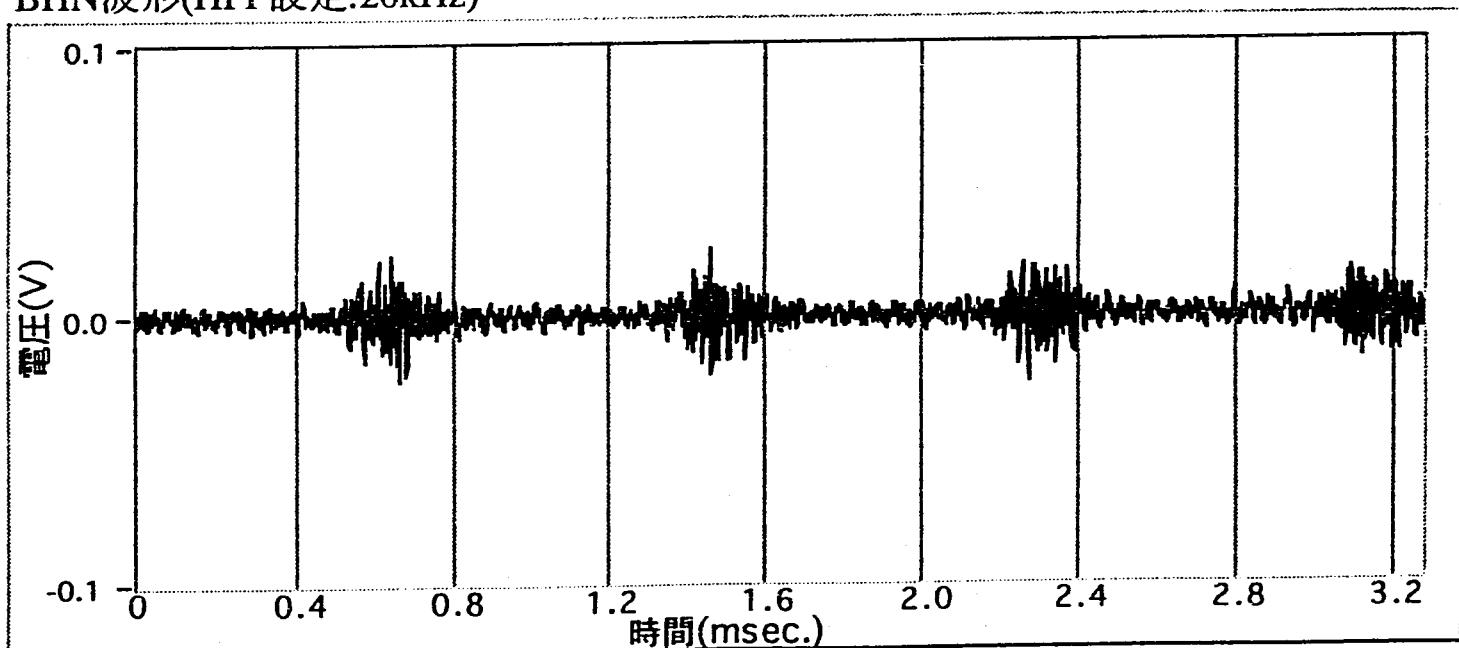
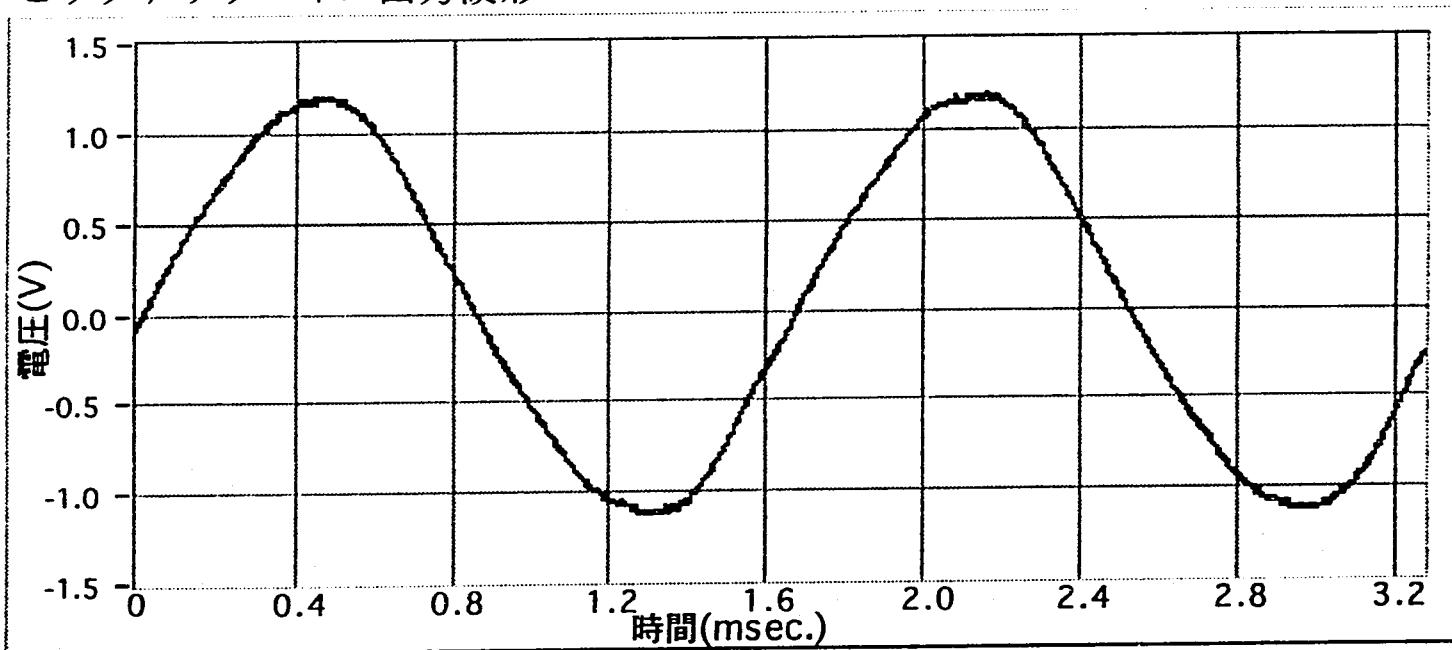


図2(3) フェライトスコープ標準試料(29.6%)のBHN検出波形

試験条件
励磁周波数:600Hz
励磁電流:150mA

ピックアップコイル出力波形



BHN波形(HPF設定:20kHz)

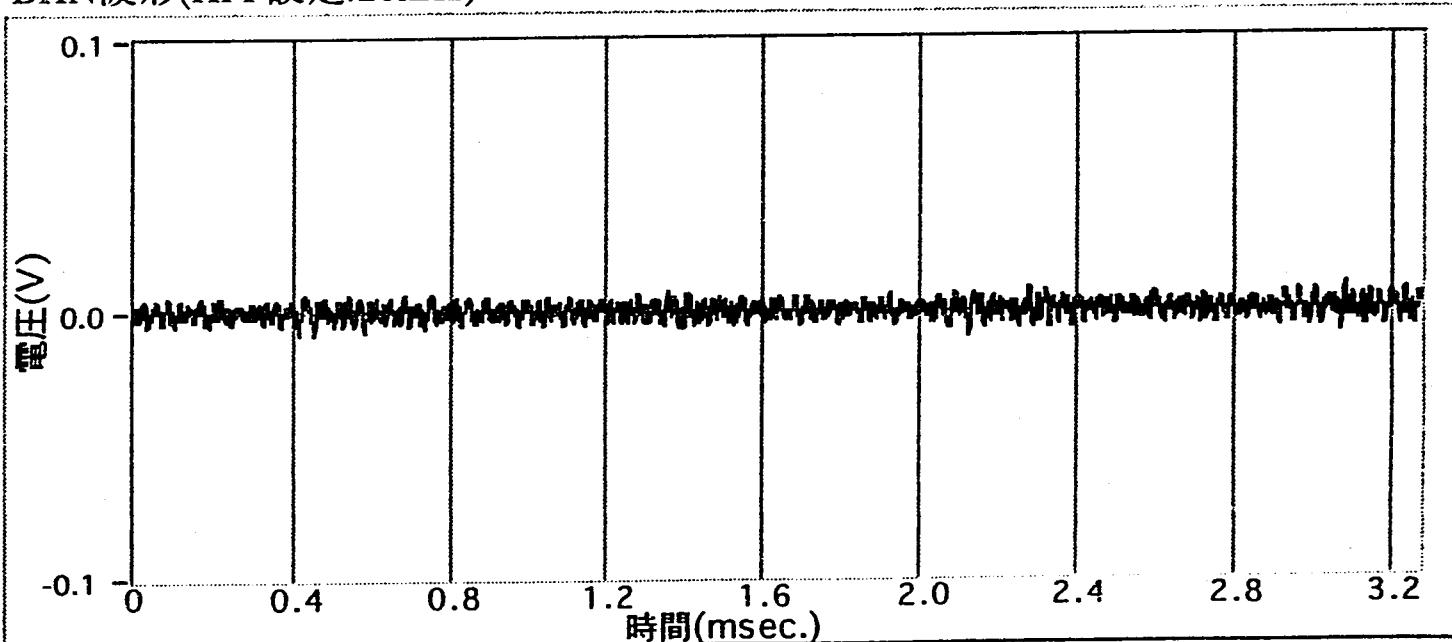


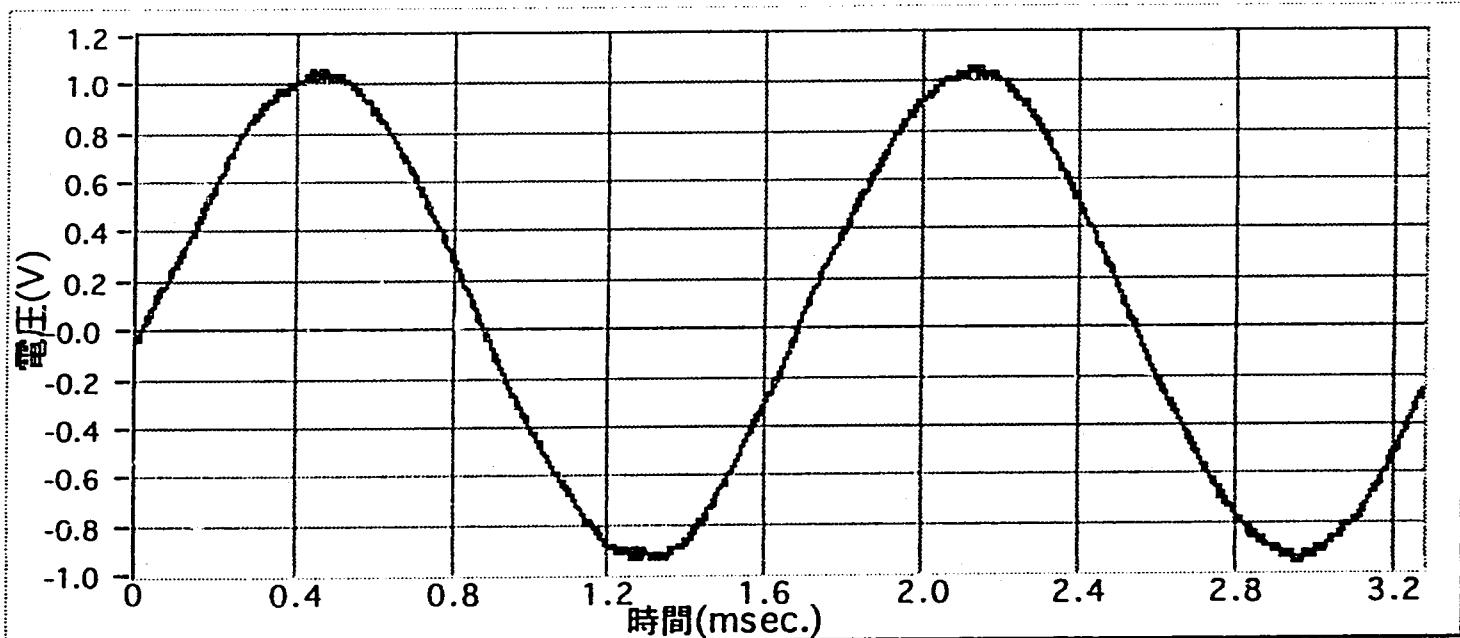
図2(4) フェライトスコープ標準試料(9.4%)のBHN検出波形

ピックアップコイル出力波形

試験条件

励磁周波数:600Hz

励磁電流:150mA



BHN波形(HPF設定:20kHz)

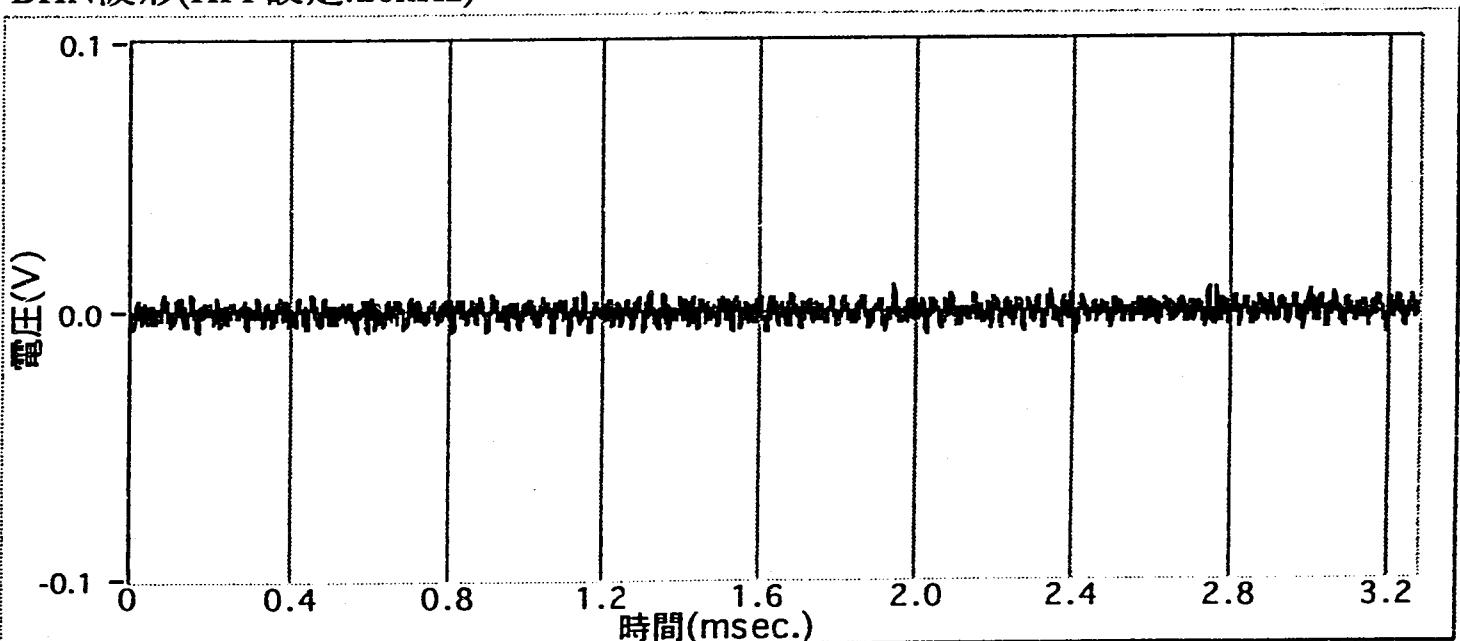
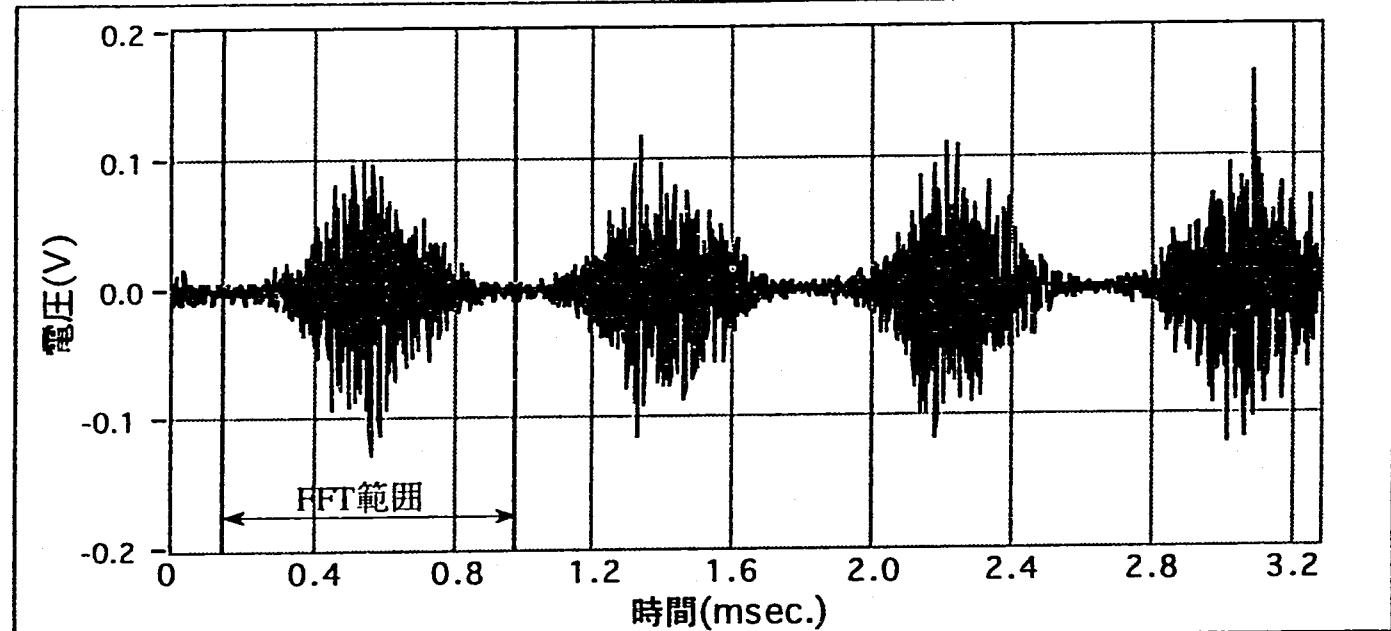


図2(5) フェライトスコープ標準試料(1.4%)のBHN検出波形

BHN波形

試験条件
 励磁周波数:600Hz
 励磁電流:150mA
 サンプリングレート:
 5MS/sec.(200nsec.)



FFT結果

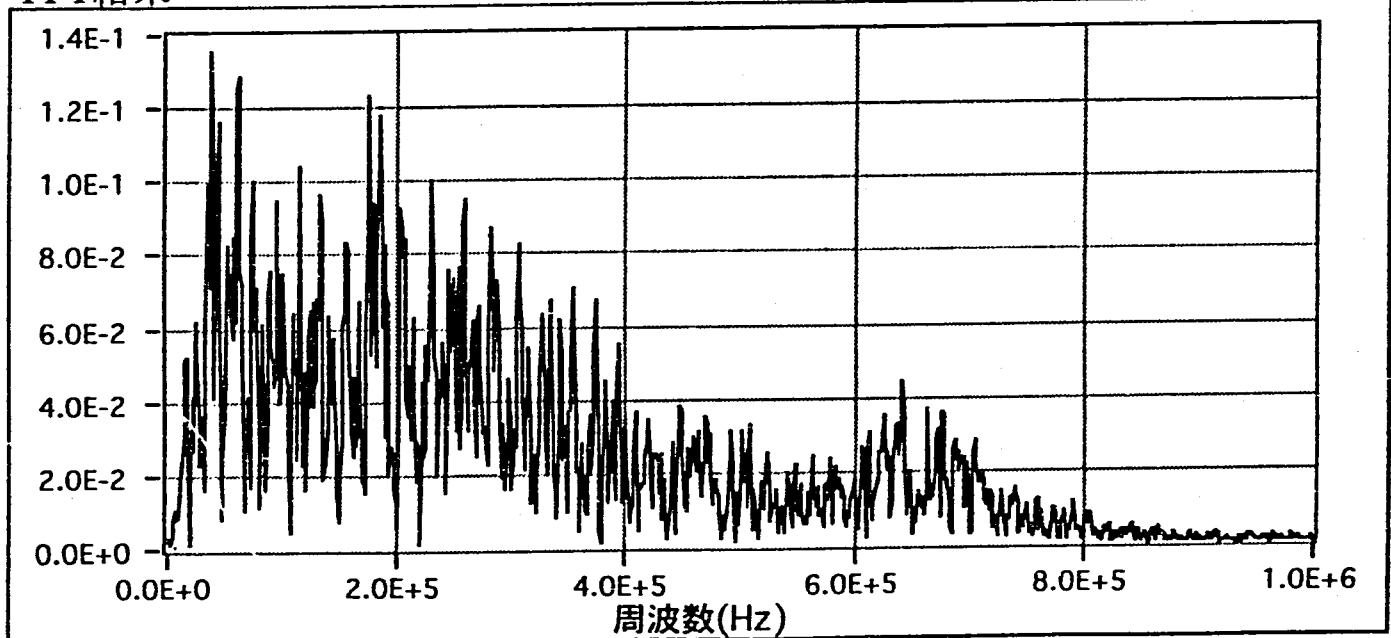
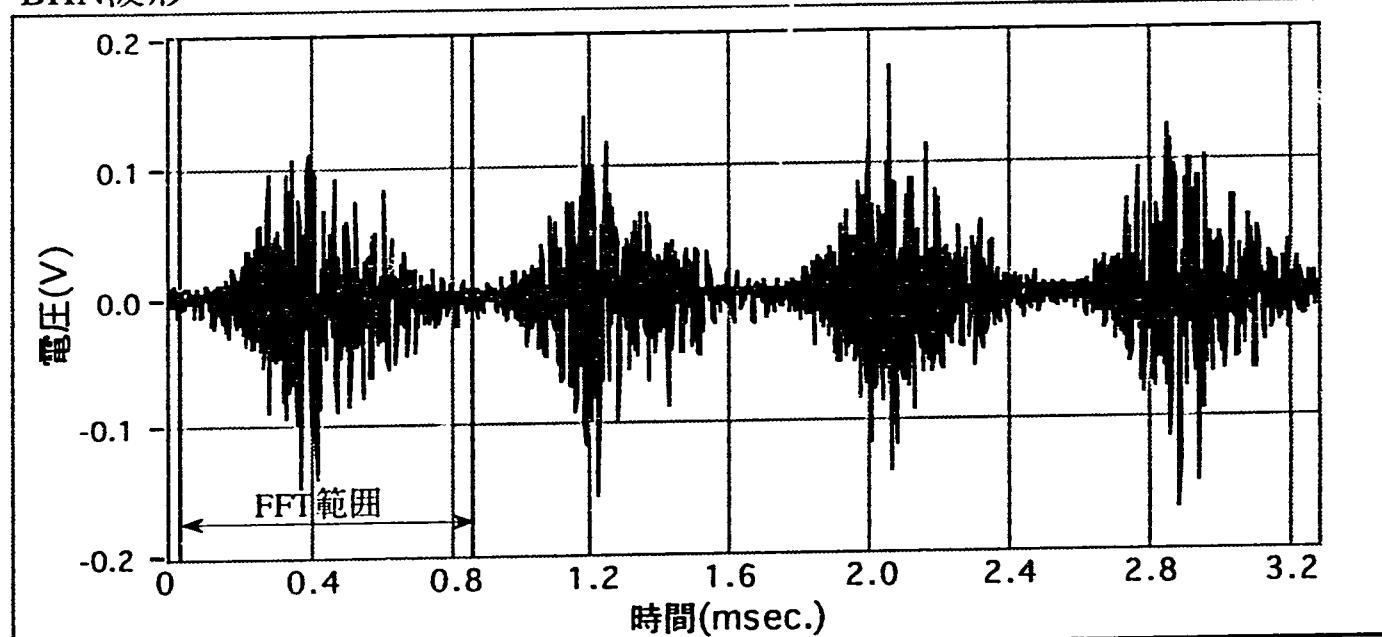


図3(1) Mod.9Cr-1Mo鋼(F4ヒ-ト)のBHN検出波形およびFFT結果

BHN波形

試験条件
 励磁周波数:600Hz
 励磁電流:150mA
 サンプリングレート:
 5MS/sec.(200nsec.)



FFT結果

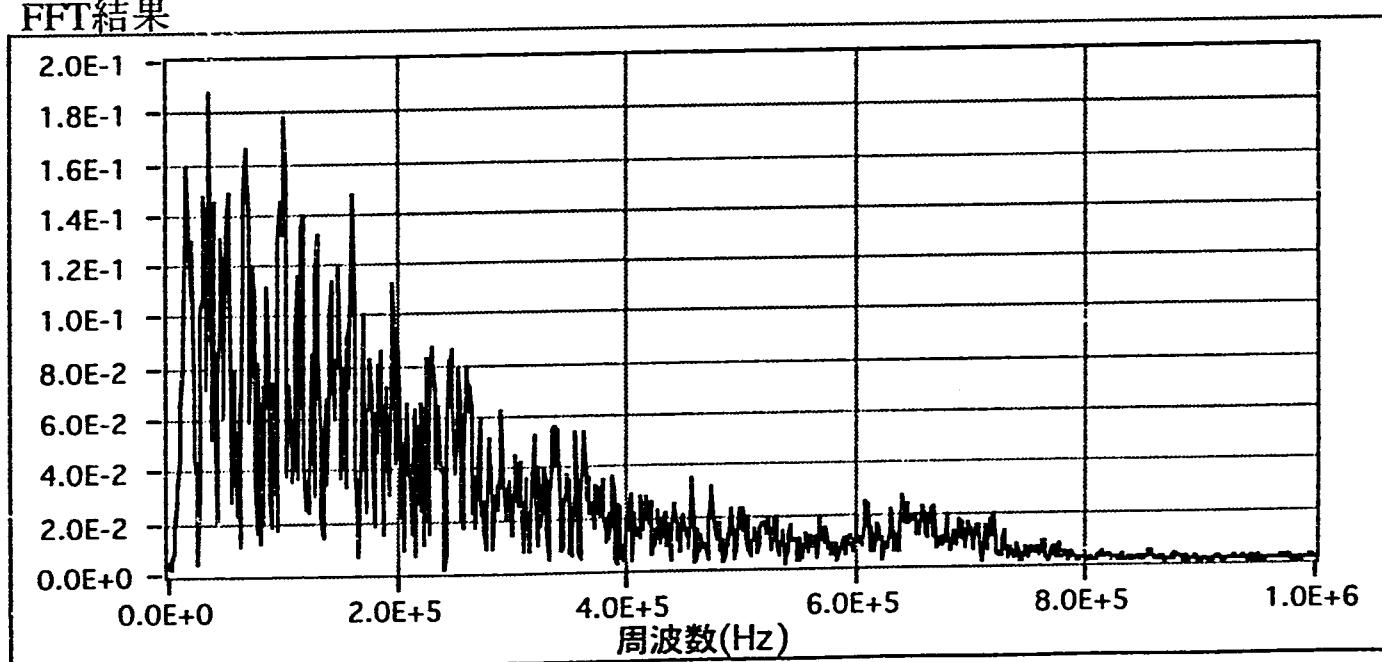


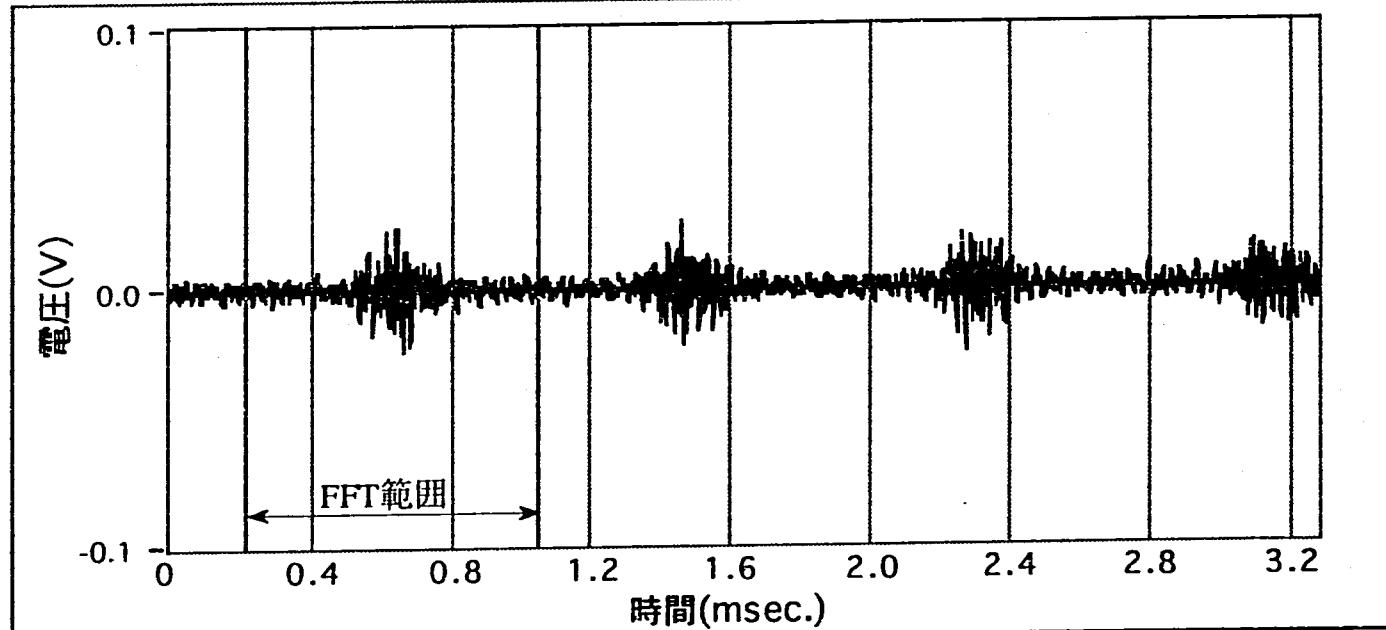
図3(2) フェライトスコープ標準試料(105%)のBHN検出波形およびFFT結果

BHN波形

試験条件

励磁周波数:600Hz

励磁電流:150mA

サンプリングレート:
5MS/sec.(200nsec.)

FFT結果

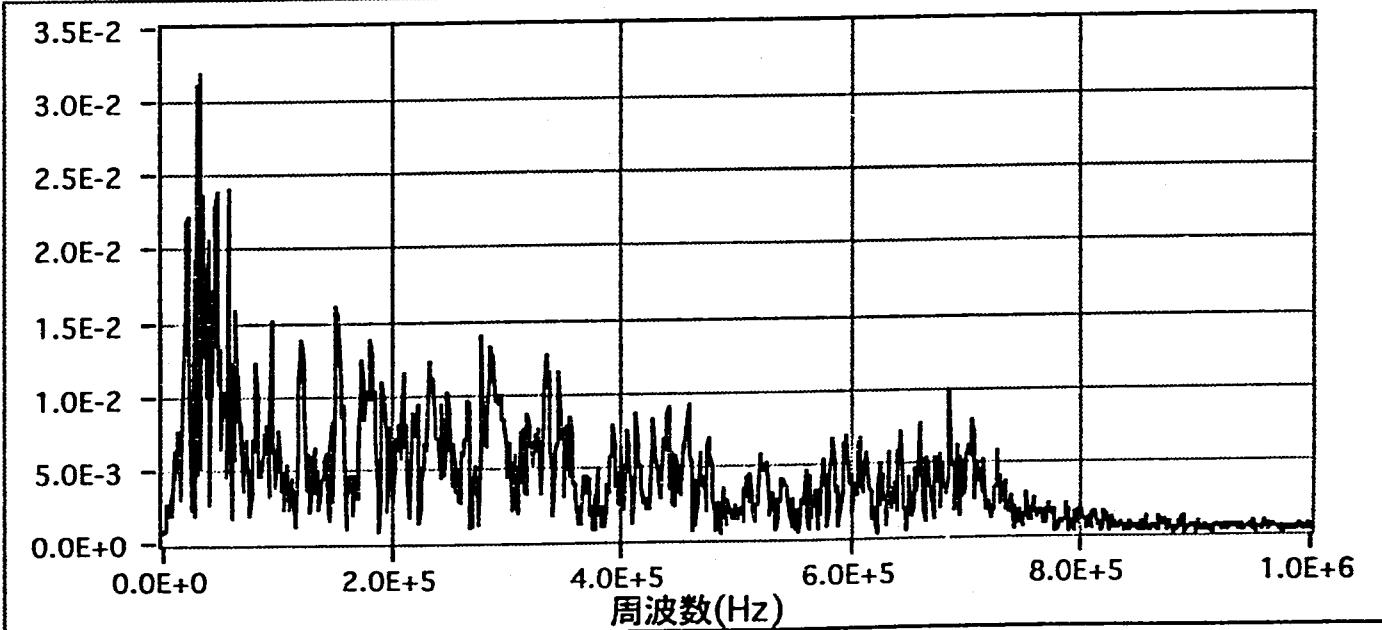
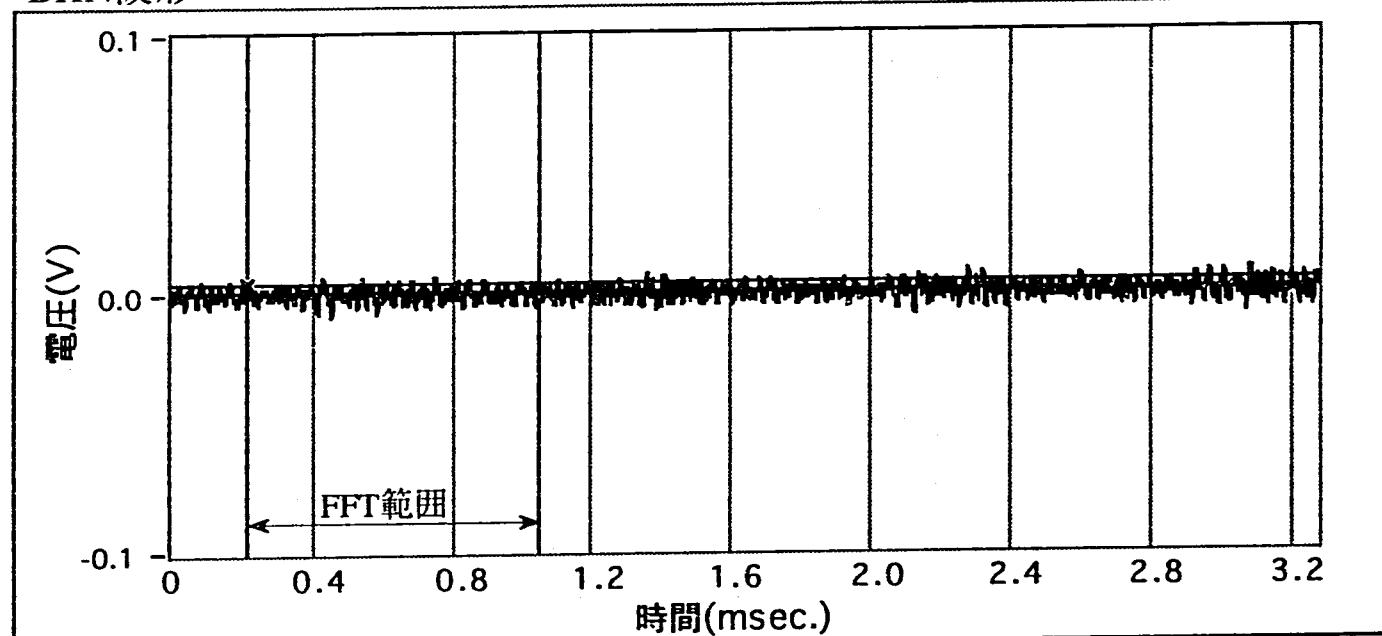


図3(3) フェライトスコープ標準試料(29.6%)のBHN検出波形およびFFT結果

BHN波形

試験条件
 励磁周波数:600Hz
 励磁電流:150mA
 サンプリングレート:
 5MS/sec.(200nsec.)



FFT結果

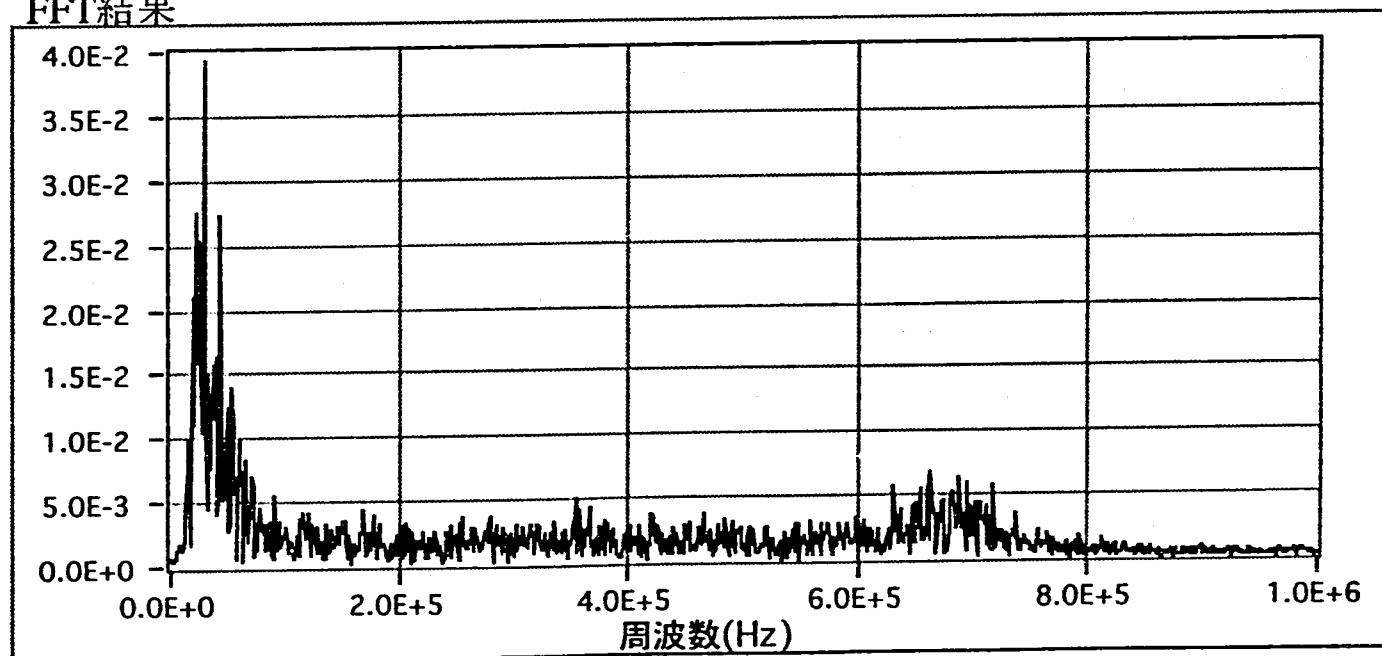


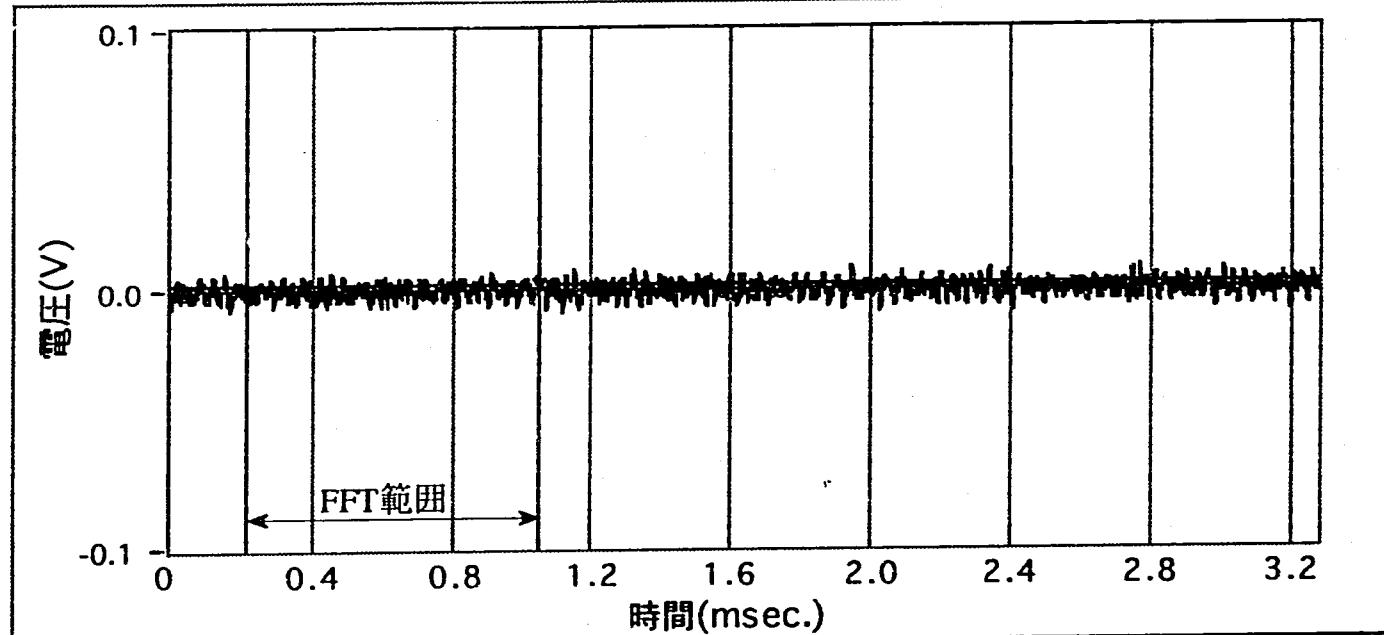
図3(4) フェライトスコープ標準試料(9.4%)のBHN検出波形およびFFT結果

BHN波形

試験条件

励磁周波数:600Hz

励磁電流:150mA

サンプリングレート:
5MS/sec.(200nsec.)

FFT結果

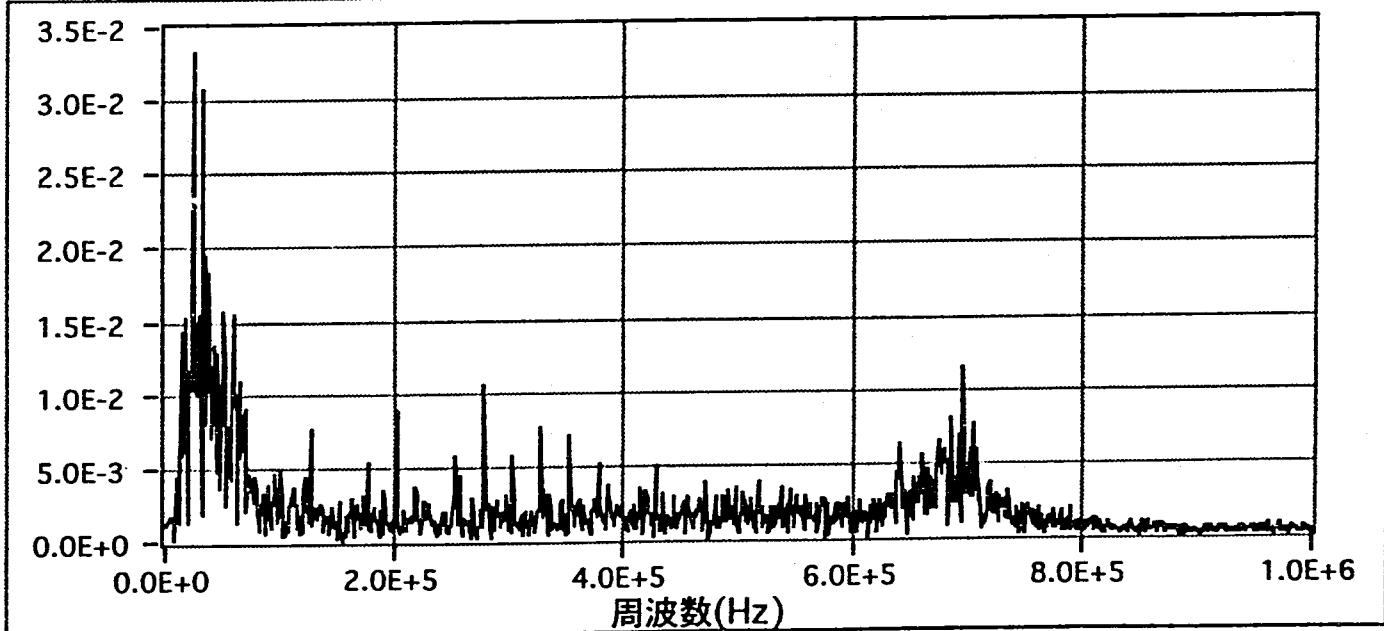


図3(5) フェライトスコープ標準試料(1.4%)のBHN検出波形およびFFT結果

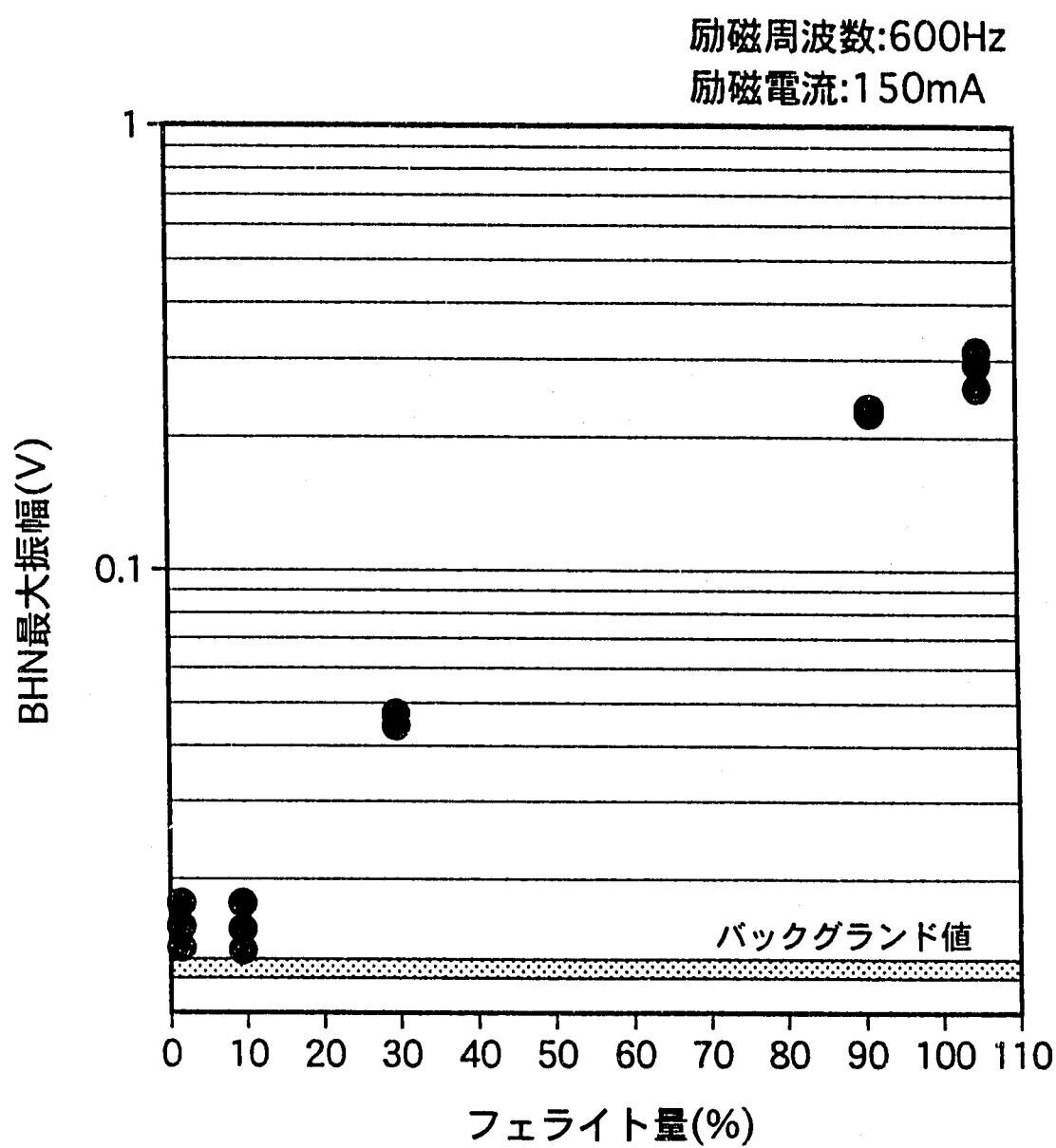


図4(1) フェライト量とBHN最大振幅との相関

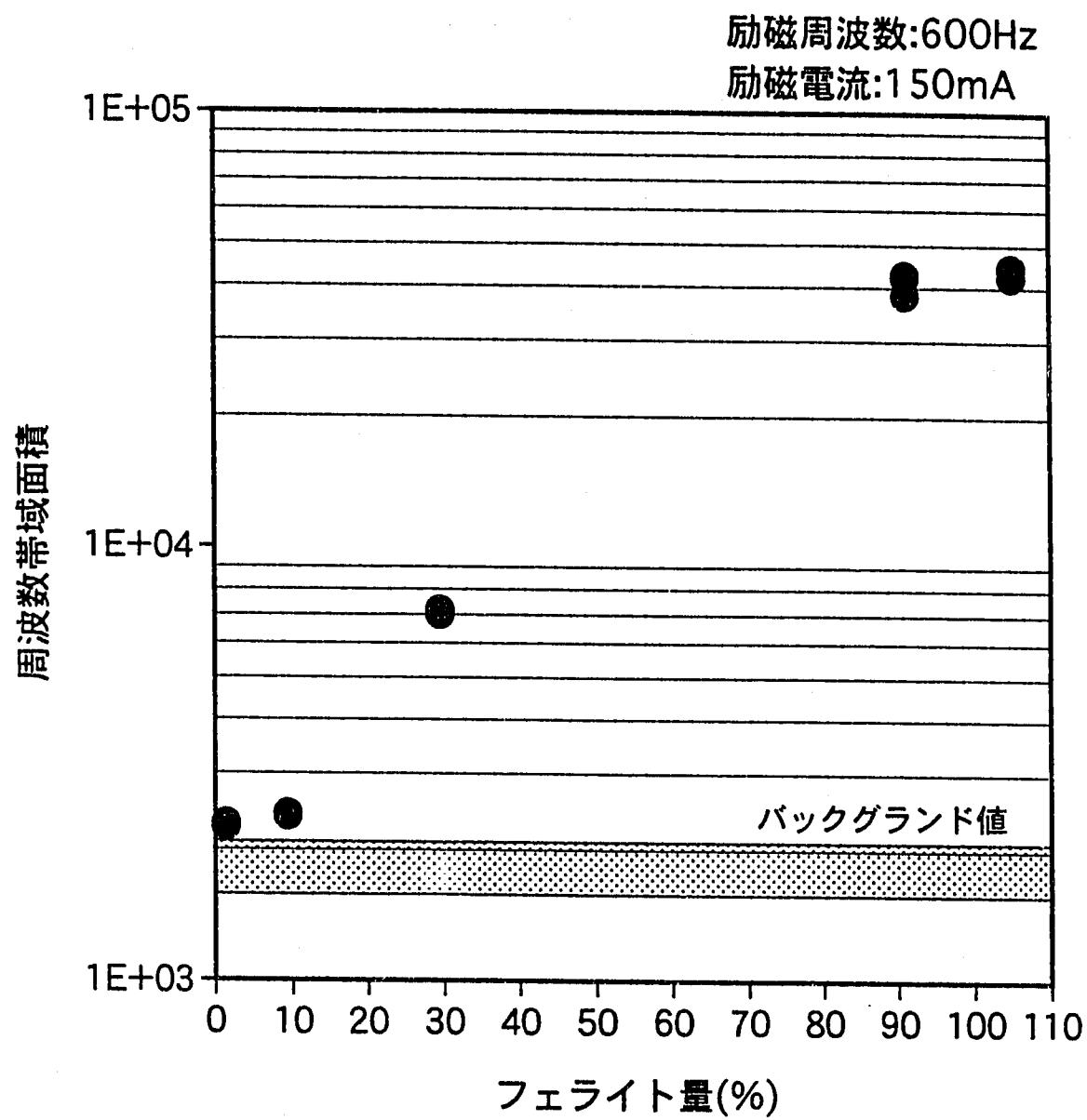


図4(2) フェライト量と周波数帯域面積との相関

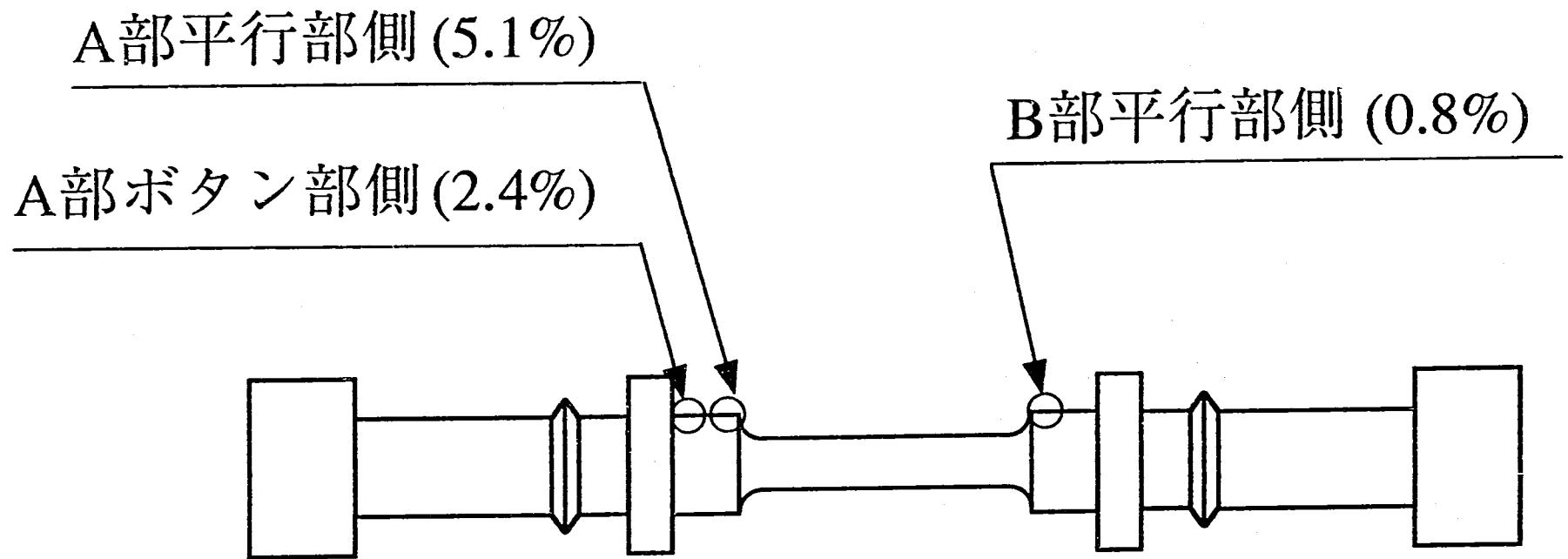


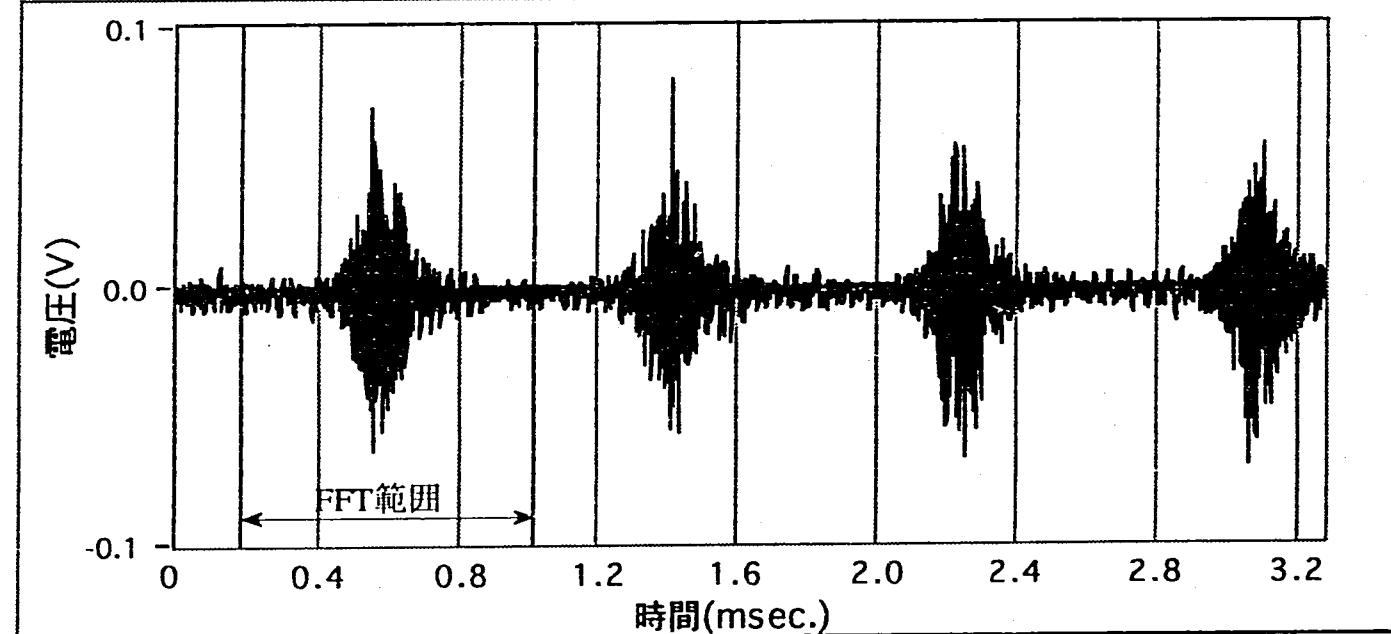
図5 Na浸漬試験片のBHN検出試験及びフェライト量測定位置
(括弧内はフェライトスコープによる測定値)

BHN波形

試験条件

励磁周波数:600Hz

励磁電流:150mA

サンプリングレート:
5MS/sec.(200nsec.)

FFT結果

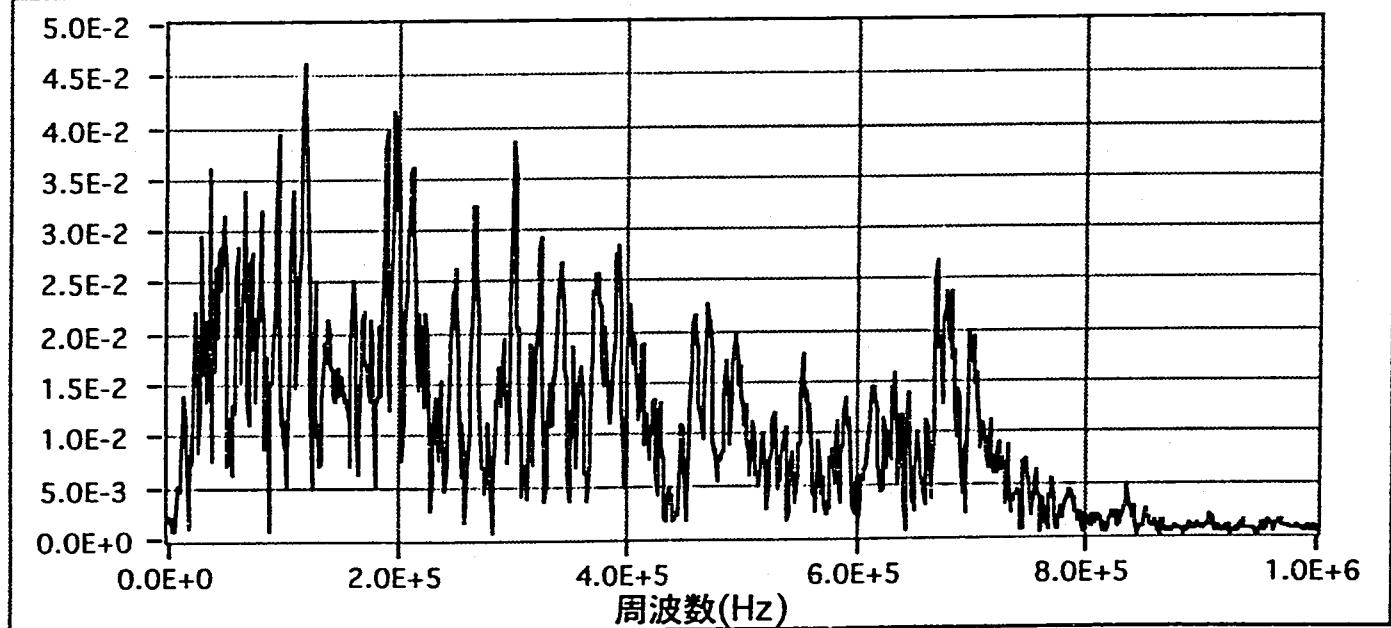
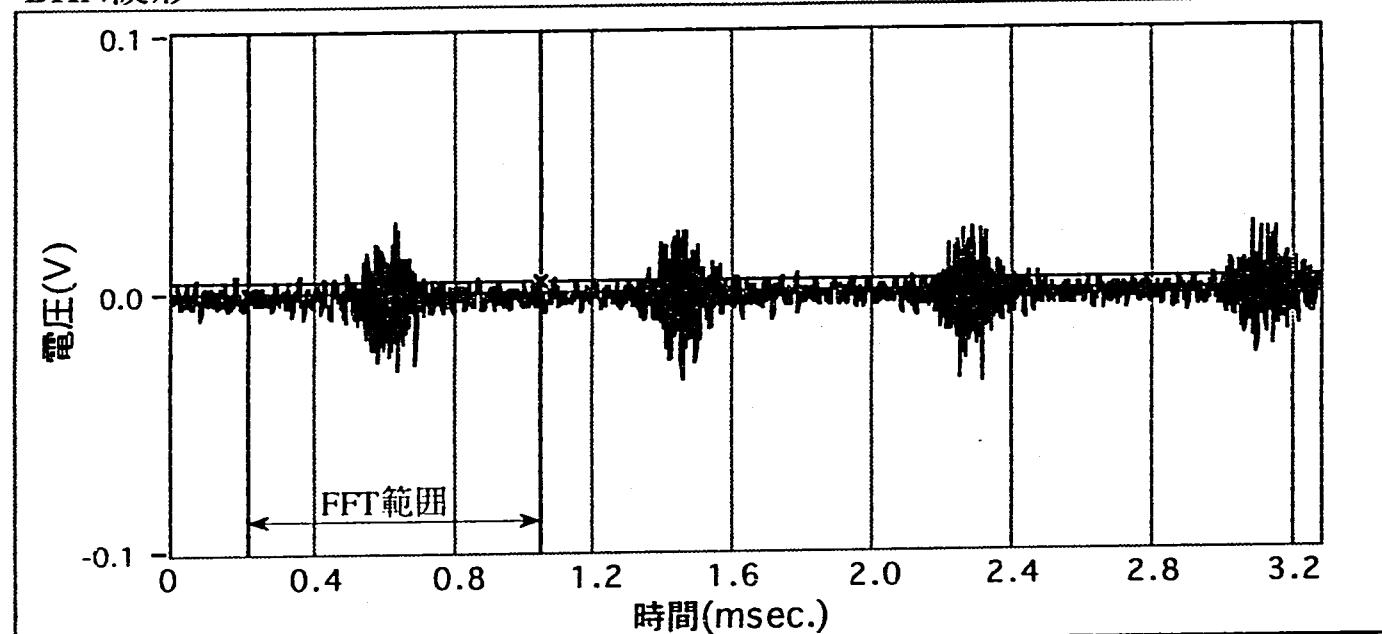


図6(1) SUS304のNa浸漬試験片、A部平行部側のBHN検出波形およびFFT結果

BHN波形

試験条件
 励磁周波数:600Hz
 励磁電流:150mA
 サンプリングレート:
 5MS/sec.(200nsec.)



FFT結果

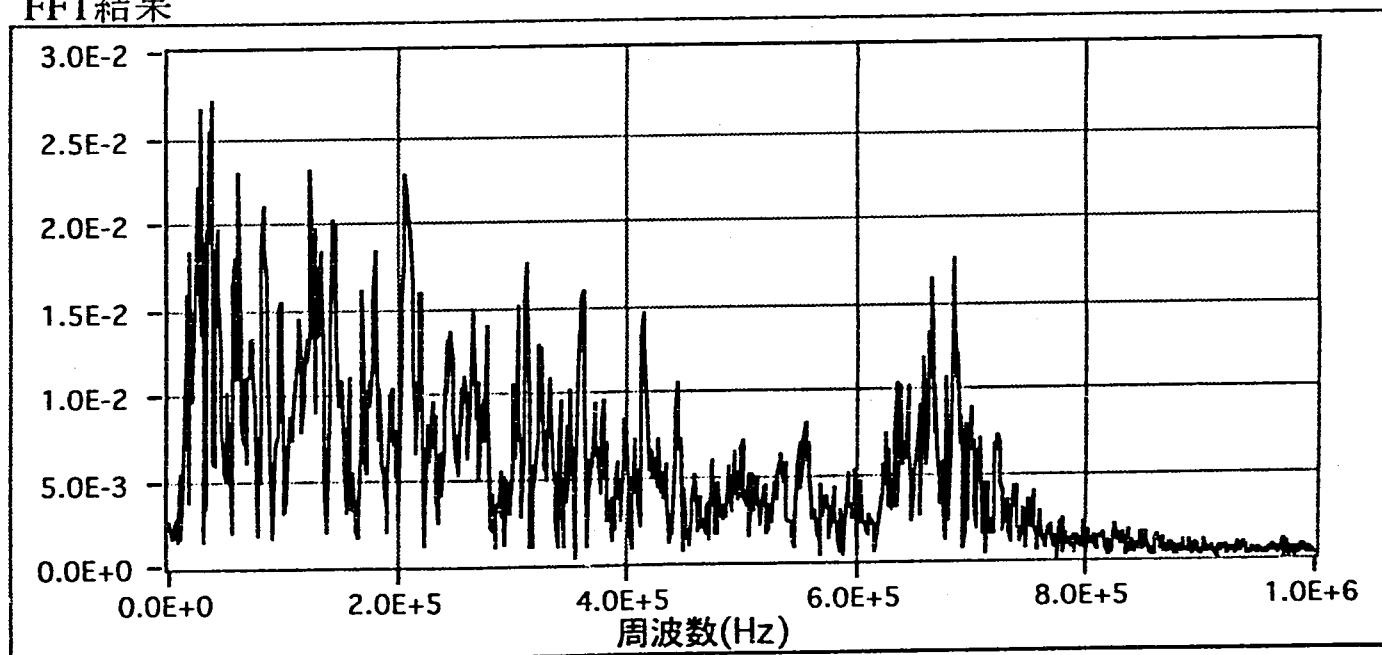


図6(2) SUS304のNa浸漬試験片、A部ボタン部側のBHN検出波形およびFFT結果

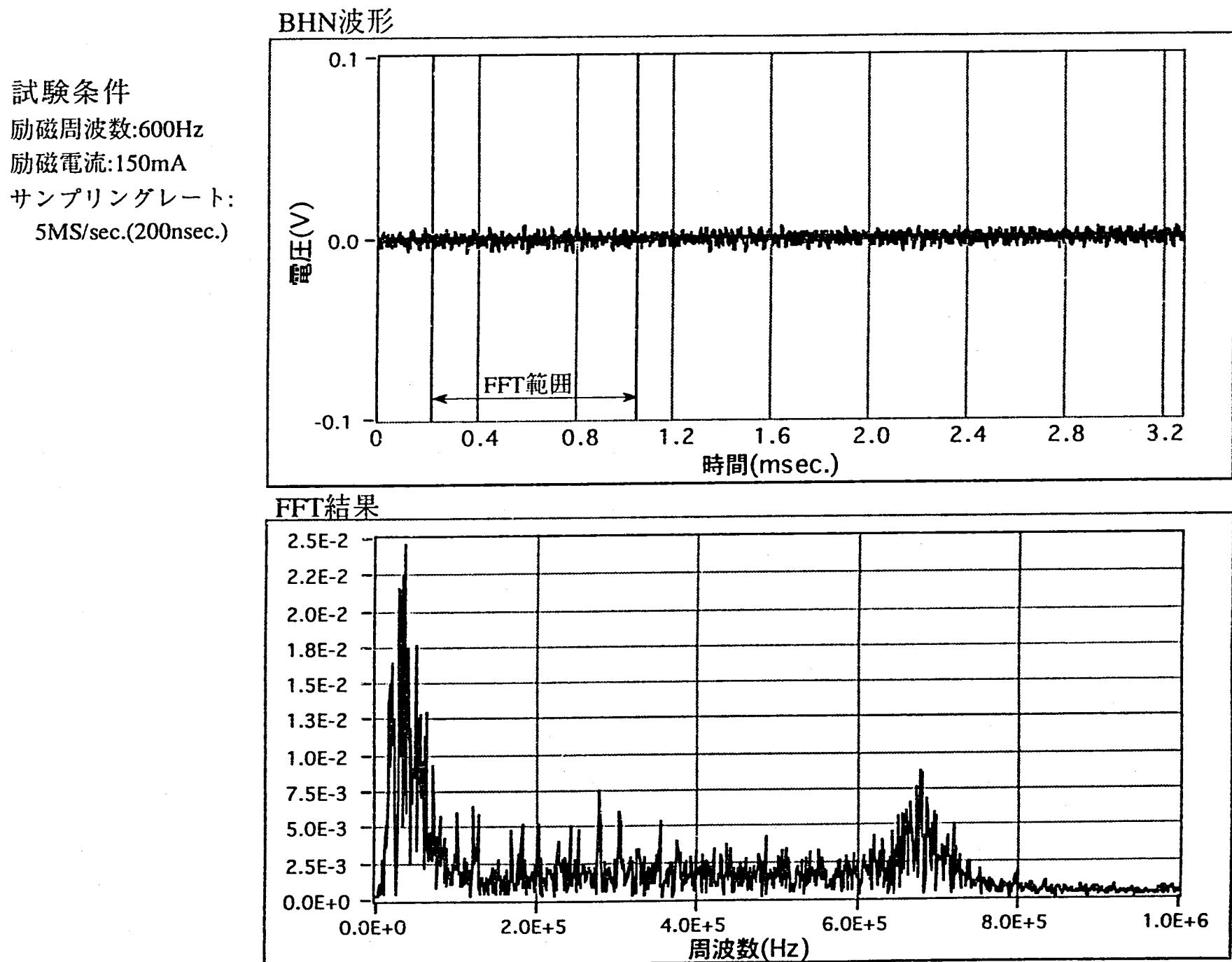


図6(3) SUS304のNa浸漬試験片, B部平行部側のBHN検出波形およびFFT結果

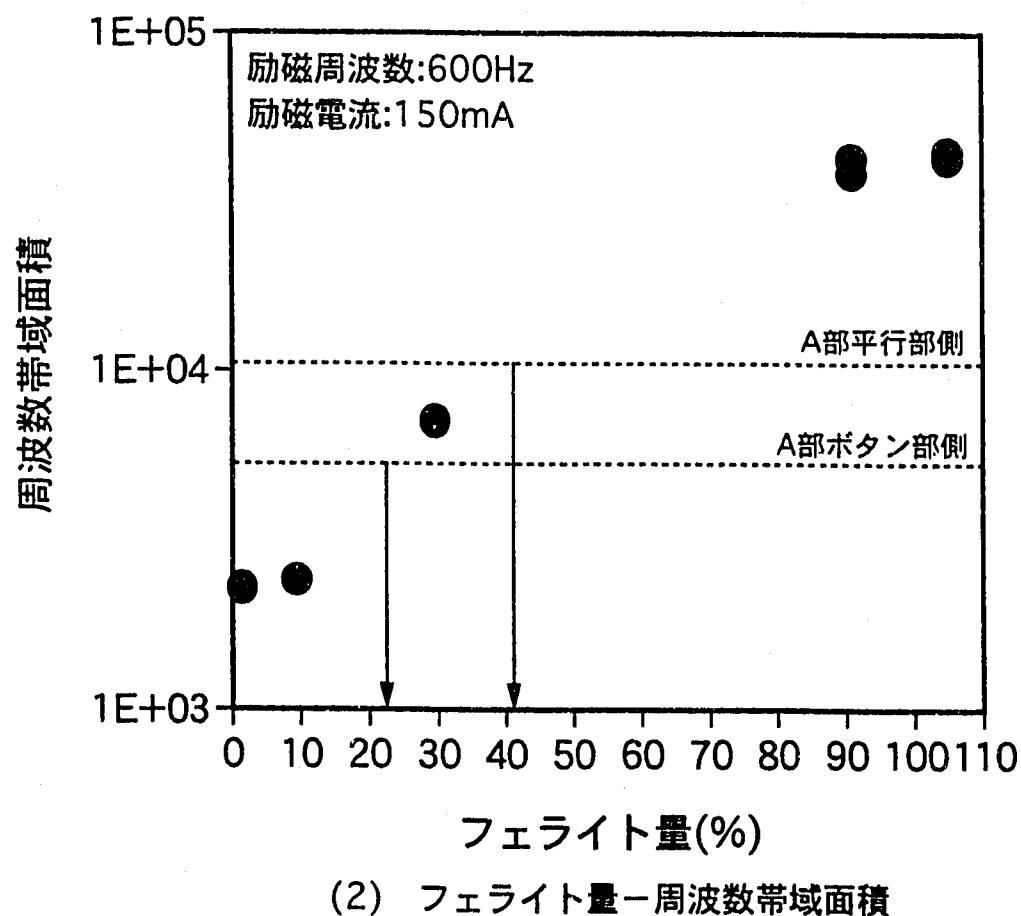
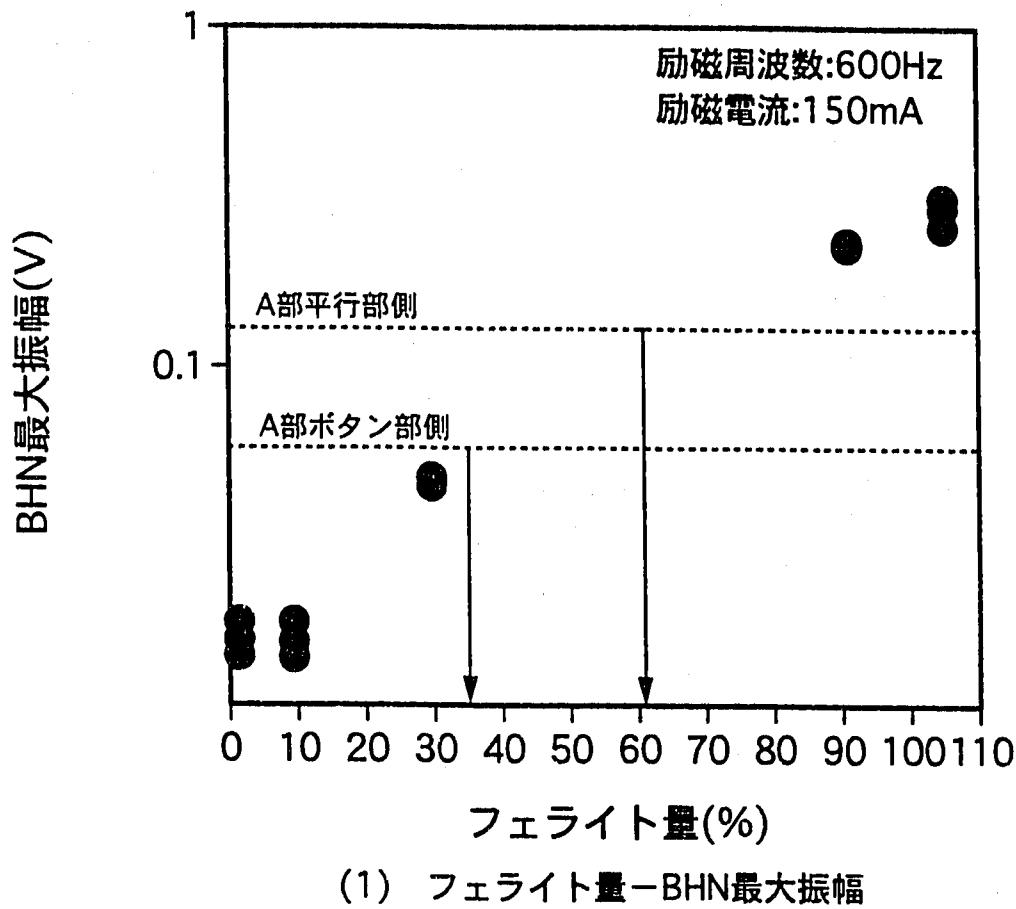
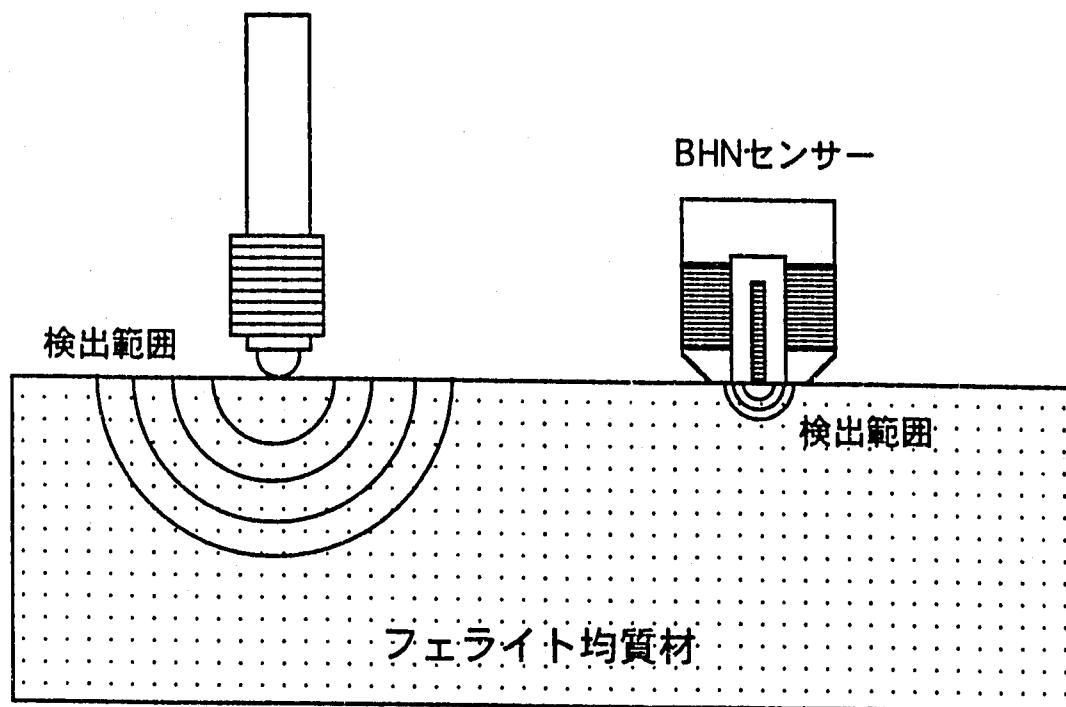


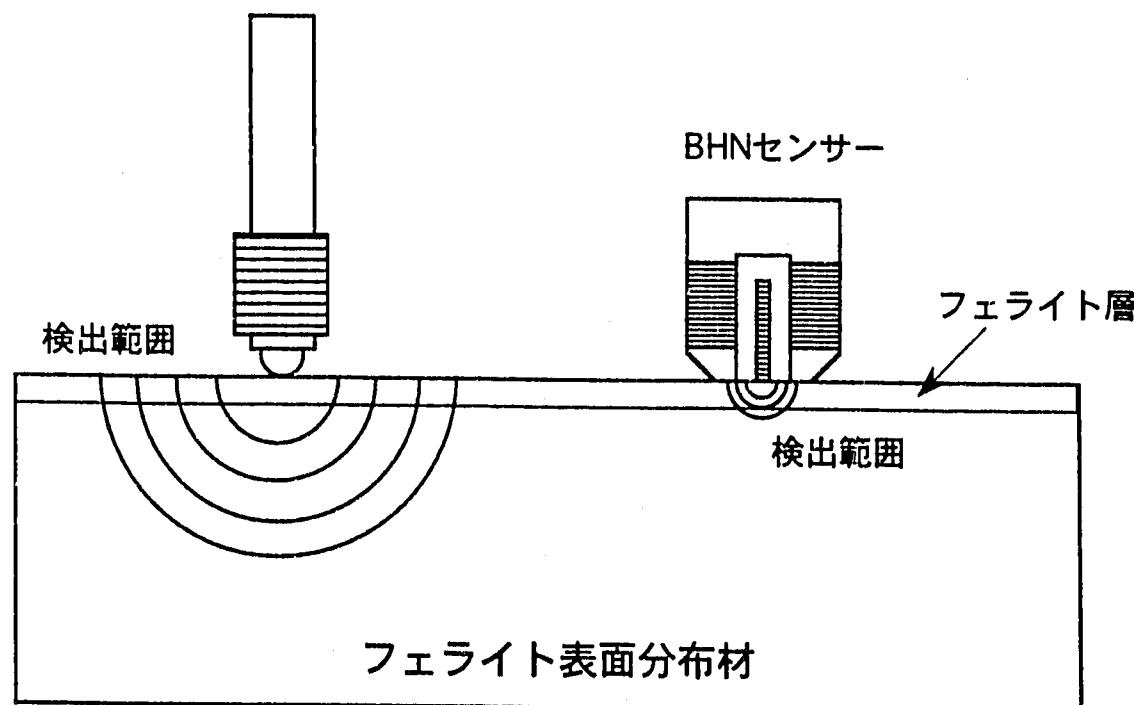
図7 SUS304のNa浸漬試験片のBHN検出結果と図4との関係

フェライトスコーププローブ



(1) フェライト均質材の場合

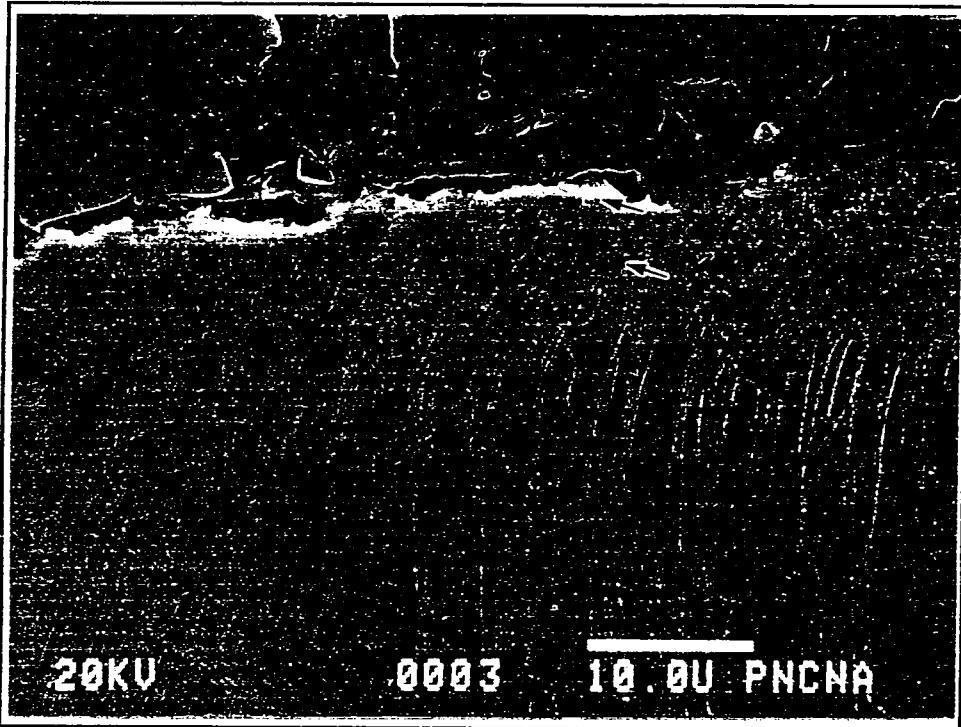
フェライトスコーププローブ



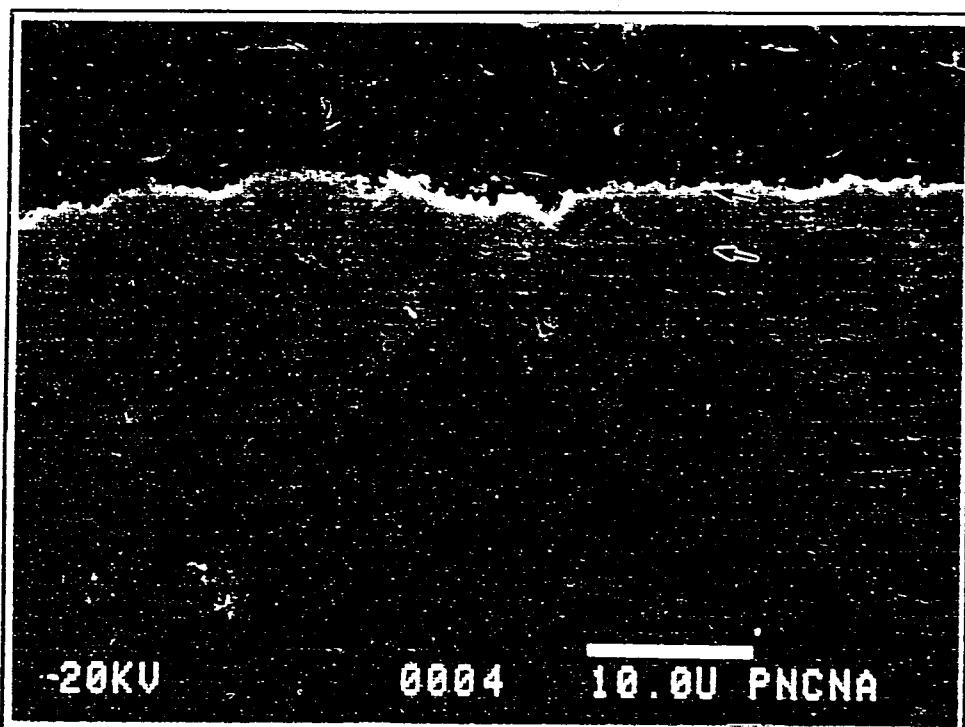
(2) フェライト表面分布材の場合

図8 フェライトスコープとBHN検出装置のフェライト
検出状態の違い

A部平行部側

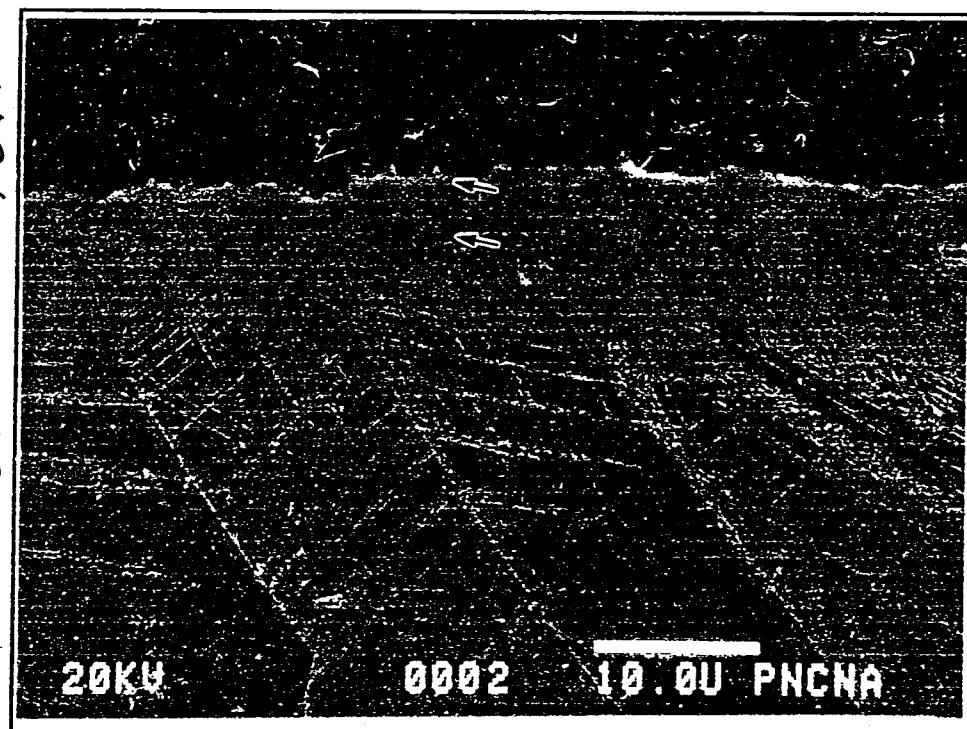


B部平行部側

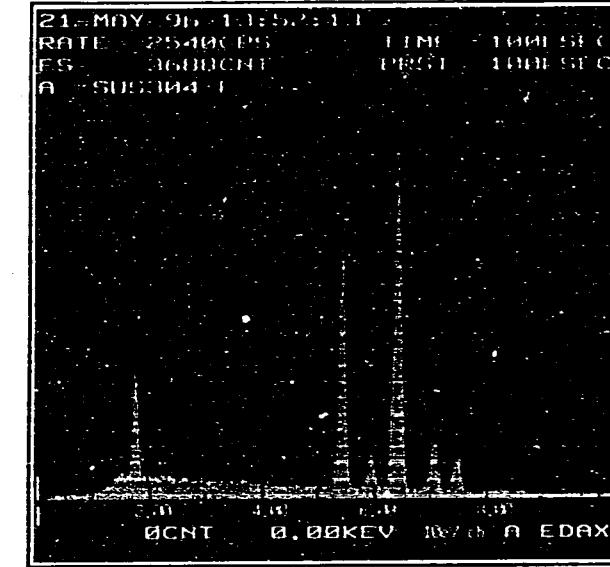
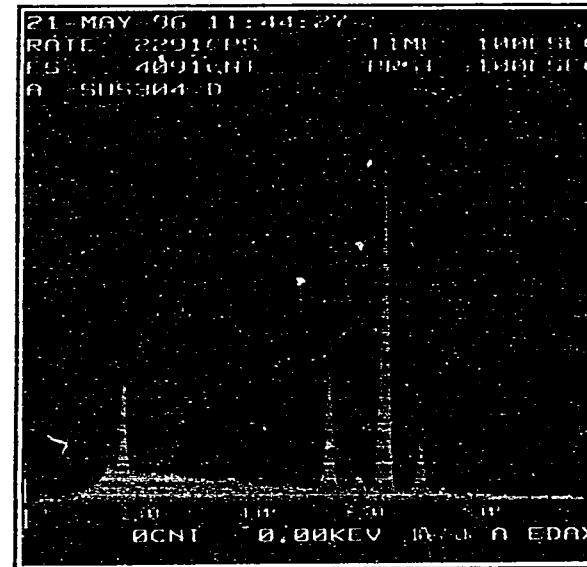
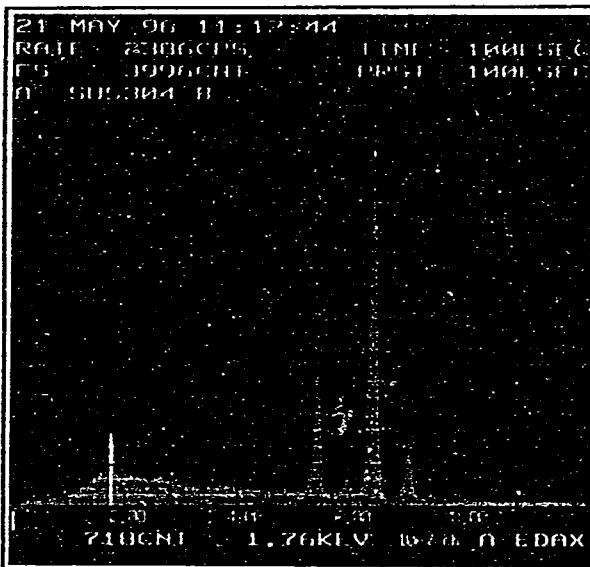


- 33 -

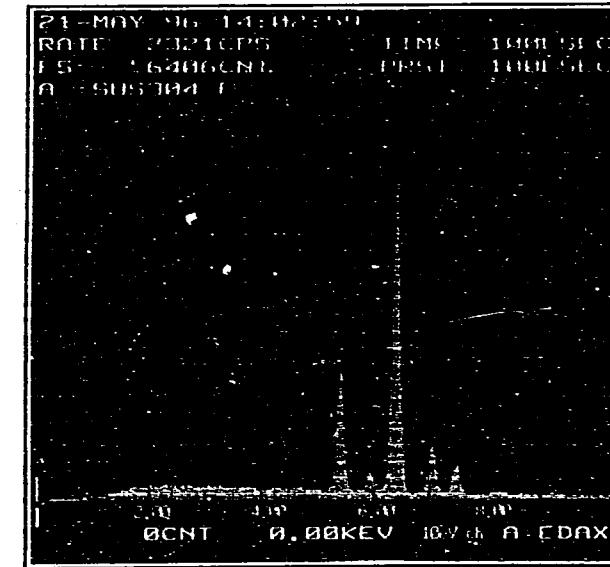
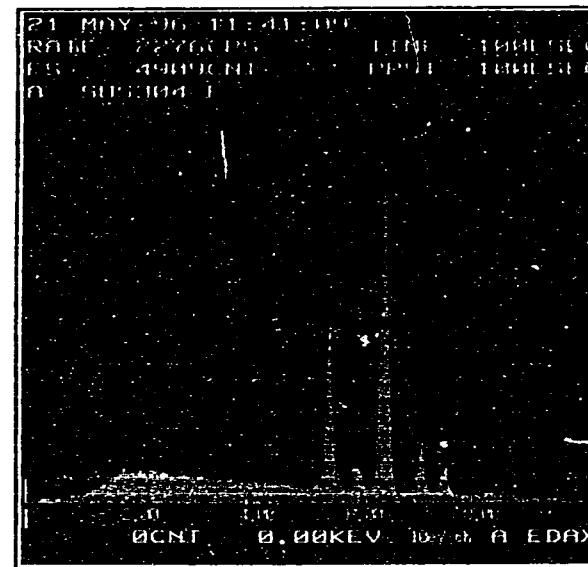
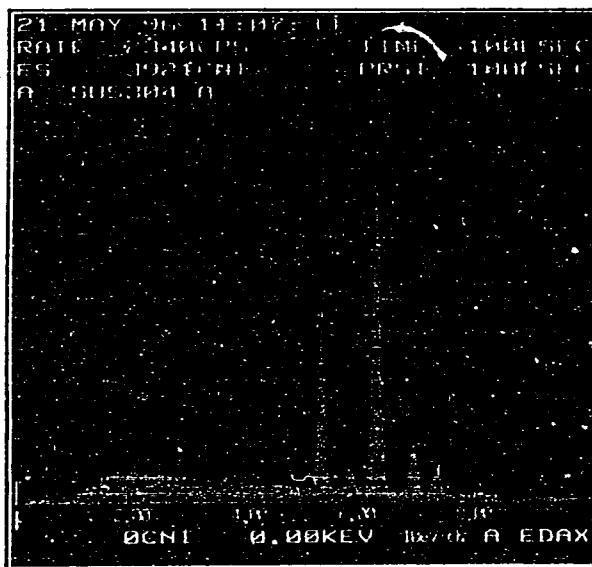
A部ボタン部側

図9 SUS304のNa浸漬試験片各部の
断面2次電子像

表面側



母材側



A部平行部側

A部ボタン部側

B部平行部側

図10 SUS304のNa浸漬試験片各部のEDS分析結果