

炉内音響検出マイクロホンの 音響特性の評価

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1996年3月



株式会社 東芝

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ください。

〒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

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, 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)

PNC-TJ9164 96-018

1996年 3月

-炉内音響検出マイクロホンの音響特性の評価-

唐沢博一^{*1}、塩山 勉^{*2}
小舞正文^{*1}

要　旨

高速炉の炉内で発生した異常を早期に検出する手段の一つとして、音響法が考えられる。本作業は、この炉内異常を検出するために、高速炉の炉内ナトリウム中で連続使用可能な、検出感度に優れた高温用音響検出マイクロホンの開発に必要なデータを採取することを目的としている。

本作業では、既存の高温用音響検出器について、音響特性を把握するとともに、X線撮影により、マイクロホンの内部構造、素子の形状、及び固定方法等を確認した。

また、以上の結果から既存の音響検出器の構造、材料及び耐環境性等の性能確認を行い、今後の開発上の問題点を検討した。

本報告書は、株式会社東芝が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号 : 07C6120

事業団担当部課室および担当者：大洗工学センター 実験炉部技術課 鈴木俊宏

*1： 株式会社 東芝 原子力事業部 動力炉開発部

*2： 株式会社 東芝 研究開発センター

PNC-TJ9164 96-018

MARCH 1996

Evaluation of acoustic microphone for sensing in-vessel noise

Hirokazu Karasawa(*1), Tutomu Shioyama(*2),
Masafumi Komai(*1)

Abstract

Acoustic sensing technique is regarded as one of means of to detect the unusual conditions detection in-a reactor vessel of FBR. This study aims at investigating data which are useful to develop the microphone which can be used continuously under sodium in a reactor vessel, and have good sensitivity and high temperature resistance.

The acoustic characteristics of the existing high temperature microphone was investigated. And the shape and fixation of element and the inner structure of the microphone were confirmed by means of X-ray photographing.

The arrangement, materials and environment resistance of the existing microphone were conjectured and subjects of the future development were picked up based on the above investigation's results.

Work performed Toshiba Corporation under a contract with PNC
(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)
Contract No. :07C6120
PNC Liaison : Toshihiro Suzuki, Reactor Technology Section, Experimental Fast
Reactor Division.
(*1) Advanced Reactor Engineering Department, Toshiba Corporation.
(*2) Energy and Mechanical Research Laboratory, Research and Development Center,
Toshiba Corporation

目 次

1. まえがき	1
2. 調査対象の音響検出器仕様	2
3. 調査結果	7
3.1 音響特性の観察	7
3.2 X線による内部観察及び分解調査	25
3.3 音響検出器の機能推定	37
3.4 文献調査検討	38
4. 今後の開発にあたっての問題点	43
5. まとめ	47
謝 辞	48

1. まえがき

高速炉の炉内で発生する異常を早期に検出する手段の一つとして、炉内の音響ノイズの検出が有効である。本作業では、高速炉内のナトリウム中で連続使用が可能な高感度の音響検出器の開発に必要なデータを採取することを目的としている。

本作業では、既存の音響検出器の周波数特性を水中で確認するとともに、X線による内部観察及び分解調査を行った。

また、以上の結果から既存の音響検出器の材料、構造及び耐環境性等の性能の確認を行い、今後の開発のための問題点を明らかにした。

2. 調査対象の音響検出器仕様

以下に、今回調査対象とした既存の音響センサについての説明を示す。

(1) 調査対象の検出器の概要

調査対象の音響検出器は、高速炉の炉内の沸騰音を検知することを目的としたものであり、音響検出用の素子としてニオブ酸リチウムの単結晶が検出器に内蔵されている。

図2-1に検出器の概略構成を示す。検出器のケースは、ナトリウムをシールするため金属で密封されており、高速炉の炉内の温度及び放射環境下で連続使用することが可能な構造となっている。

信号線は、先端のセンサヘッド部に溶接で接続された直径1cm程度、長さが 2m程度の金属ケーブルサポートで密封されており、内部にM I ケーブルを内蔵することにより原子炉容器や試験容器を貫通させて据え付けることが可能な構造になっている。

金属ケーブルサポートの先端には、シール構造の小型コネクタが取り付けられており、信号線を介して専用の前置増幅器に接続される構造となっている。

(2) 検出器の仕様及び構造

調査対象の音響検出器の主要目（カタログスペック）を表2-1に示す。また、同検出器の外形図を図2-2に示す。同検出器と同一仕様の音響検出器の常温水中での校正データを図2-3に示す。

以上から、調査対象の音響検出器は仕様上は高速炉の炉内環境で使用可能な性能を有していることがわかる。

表2-1 調査対象の音響検出器の仕様

部品名	項目	仕様 値
センサー ヘッド	使用温度	600 °C
	最高使用温度	650 °C
	使用環境	ナトリウム / Ar ガス
	放射線条件	中性子束 : $1.0 \times 10^{22} \text{nvt}$ ガンマ線 : $4.4 \times 10^{11} \text{Gy}$
	周波数範囲	10 ~ 200 kHz
	感度	200 pC/bar (Typical)
M I ケーブル	使用温度	600 °C
	使用環境	ナトリウムエアゾル / Ar ガス
コネクタ	使用温度	650 °C
	使用環境	大気中
前置増幅器	使用温度	0 ~ 60 °C
	ゲイン	60 dB
	周波数範囲	2 ~ 300 kHz
	出力電圧	±5 V (最大)
	電源	20 V DC (2系統) ±15 V DC (1系統)
	寸法	52mm × 28mm × 175mm

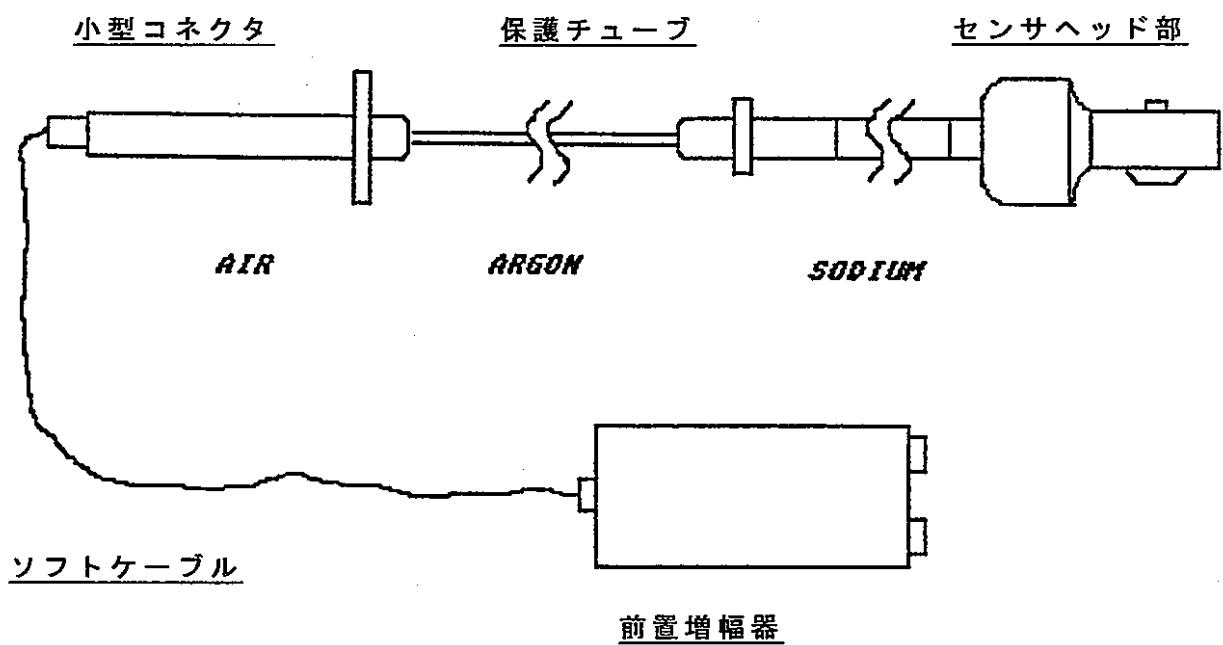


図2-1 調査対象の音響検出器の基本構成

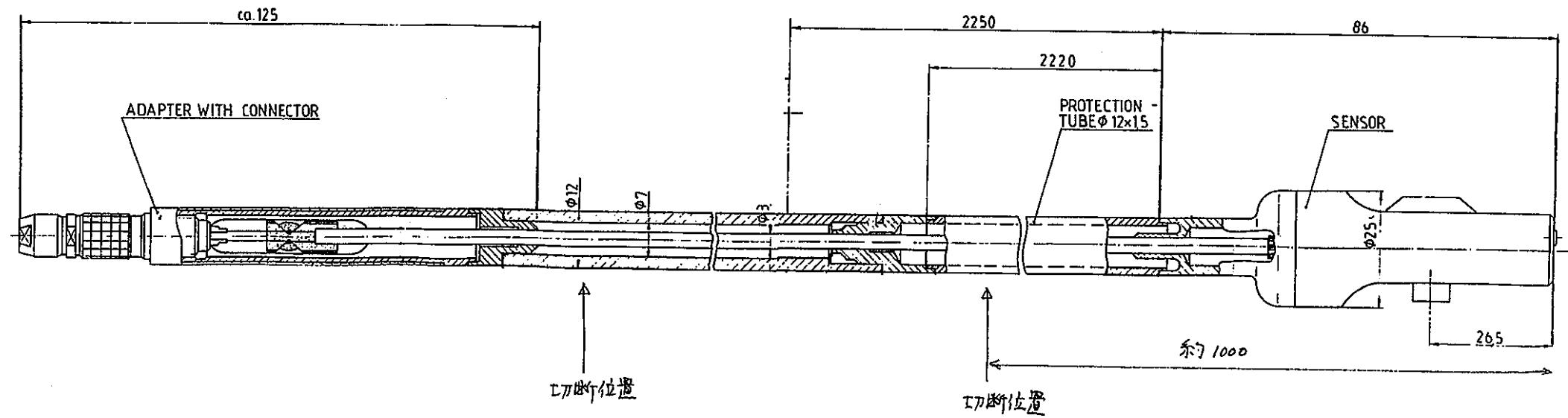


図 2-2 調査対象の音響検出器の構造

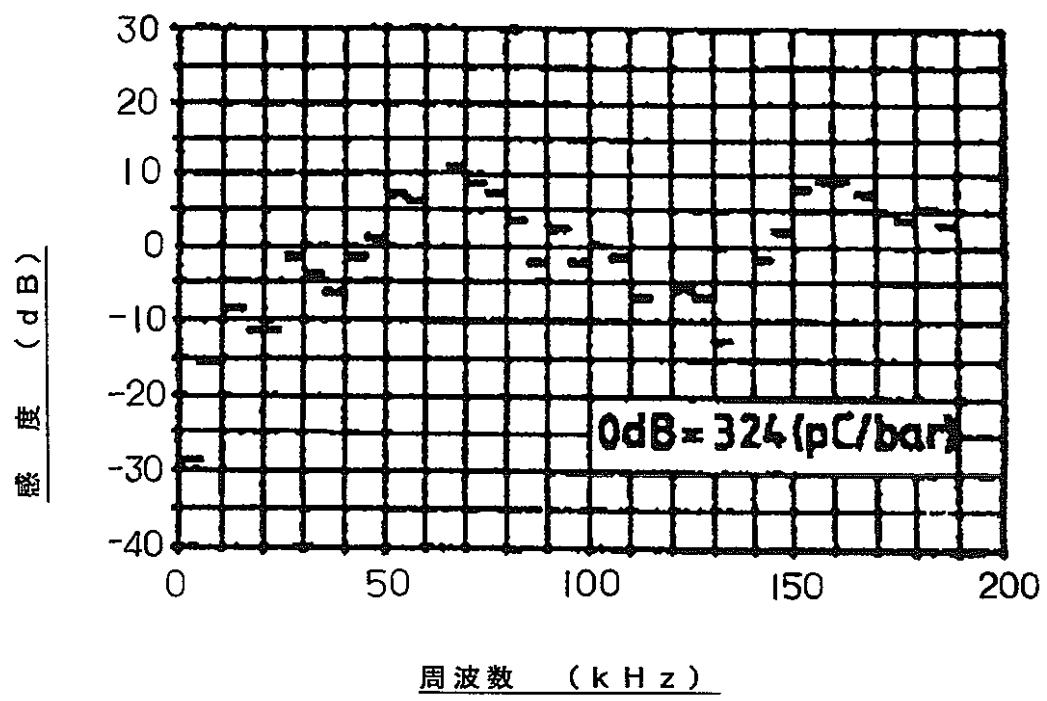


図 2-3 調査対象の音響検出器相当品の音響特性（水中、常温）

3. 調査結果

3.1 音響特性の観察

調査対象の音響検出器の特性確認を行うため、ノッキング試験による、検出器の応答と、水中での周波数特性を測定した。

(1) ノッキング試験

調査対象の音響検出器（音響計）を水中に入れ、音響計の保護管を軽く叩いて出力を確認するノッキング試験の結果を図3.1-1に示す。同図は、音響検出器を付属のプリアンプに接続し、その出力を記録したものである。ややノイズが大きいが、ノッキングに対してはよく応答していることがわかる。

(2) 周波数特性試験

音響検出器の周波数特性を確認するために、水中音響試験を実施した。

試験は、特性が既知な市販の水中マイクロホンを用いて特性比較を行う方法により行った。発生音響には単一周波数の正弦波音響を用いた。水中音響試験に用いた水槽は、縦・横が760mm×1160mm、深さ380mmのもので、外観を図3.1-2に、レイアウトを図3.1-3に示す。レイアウト上は水中マイクロホンと音響検出器を水中スピーカに対して対称の位置に配置し、水槽内の定在波のモードの影響で差がないように考慮した。計測系の構成を図3.1-4に示す。また、試験に用いた水中スピーカ・水中マイクロホンの仕様と試験条件を以下に示す。

● 水中スピーカ

- FOSTEX製 US300（定格入力60W・指向特性：水中全方向）

● 水中マイクロホン

- BK Type 8103（図3.1-5に仕様詳細を示す）

● 試験条件

- 水中スピーカとの距離（425mm）
- 単一正弦波発振（12KHz、24KHz、48KHz、72KHz、96KHz、120KHz、144KHz、168KHz、192KHz）

各周波数条件での水中マイクロホンと音響検出器との出力波形を図3.1-6～図3.1-14に示す。ただし、音響検出器はプリアンプ出力を電圧表示のまま示している。

水中マイクロホンの出力は144KHz以下の周波数ではほぼ一定した振幅の正弦波を記録しており正弦波音が発振されていることがわかる。168KHz以上では水中マイクロホンの特性が劣化し、受信する音圧のレベルが低下すると共に正弦波の振幅が一定しなくなってくる。一方、音響検出器の出力は、比較的低周波数域ではノイズが多く安定していないが、100KHz以上では振幅も安定し、マイクからの発生電圧は逆に高くなってくる。水中マイクロホンで測定された音圧を基準に音響検出器の周波数特性を示したのが図3.1-15である。（図3.1-15に示す水中マイクロホン自身の周波数特性データを用いて補正している）この図では、96KHzの特性（0.31V/Pa）を0dBとして示している。この図から音響検出器は100KHz以上では感度が大きいが、100KHz以下では感度が小さいことがわかる。カタログに示されている感度（図2-2）と比較すると20～100KHzでの感度が低くなっている。図3.1-16、図3.1-17にそれぞれ48KHz、96KHz正弦波音発振時の出力の周波数分析結果を示す。これらの図より、S/N音響検出器では信号である48KHz、96KHz成分以外の成分のノイズが大きくS/N比で25dB～40dB程度の差である。水中マイクロホンでは60dB近い差があることを考えると、音響検出器のS/N比は相対的に低いことがわかる。

(3) 特記事項

尚、調査対象の音響検出器用の前置増幅器は、ノイズ特性が良好でないため、アルミ箔でシールドすると共に、ノイズの少ない安定した波形の電源を用意するなどS/N向上に苦労を要した。このため、前置増幅器については、今後、改善の余地があるものと考えられる。

また、本水中音響試験では問題は見られなかったものの、炉内Na中で使用する際は、ナトリウムとのぬれ性を良好とするため300℃以上に一度昇温することが必要であると考えられる。

今回得られた特性は、試験設備のアクリル水槽が比較的小さなものであった為、図3.1-15に示す周波数特性データに影響を及ぼしていることを考慮しておく必要がある。

ノッキング テスト

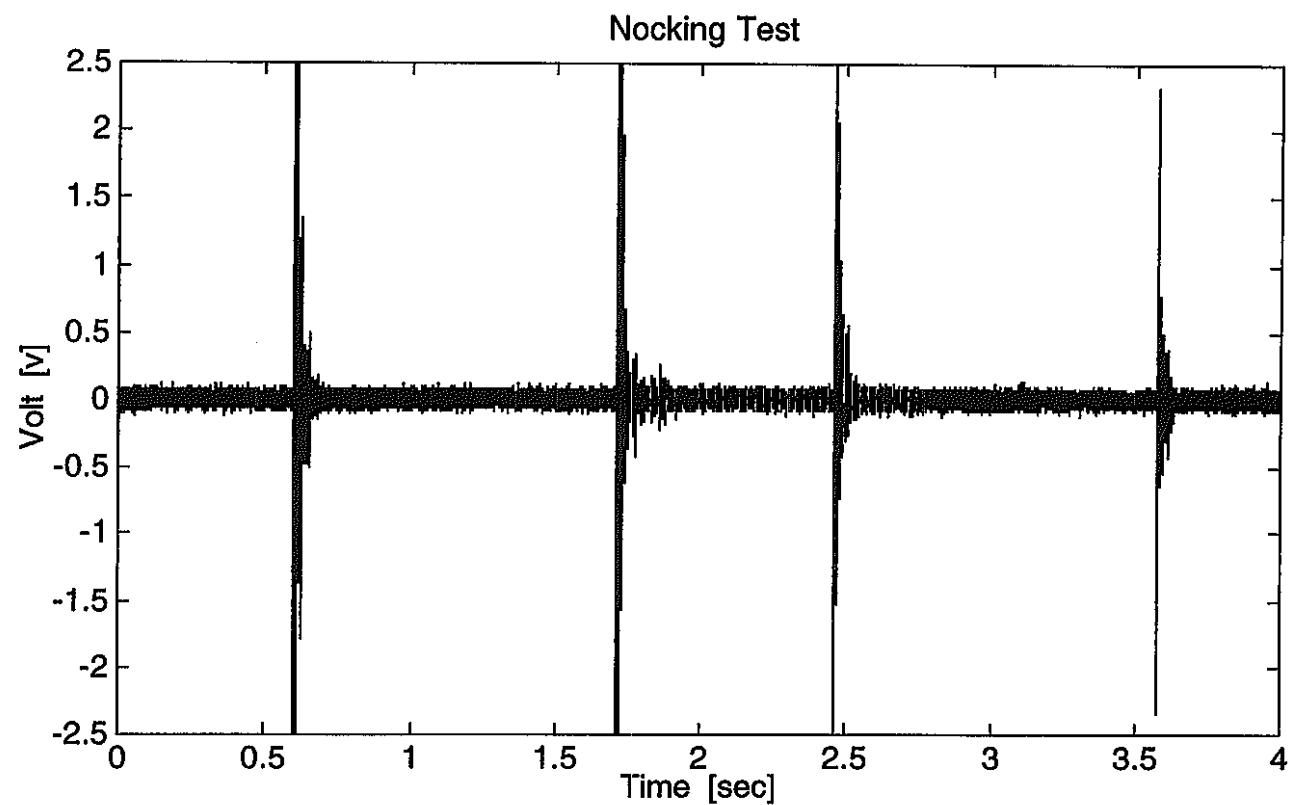


図3.1-1 ノッキング試験結果

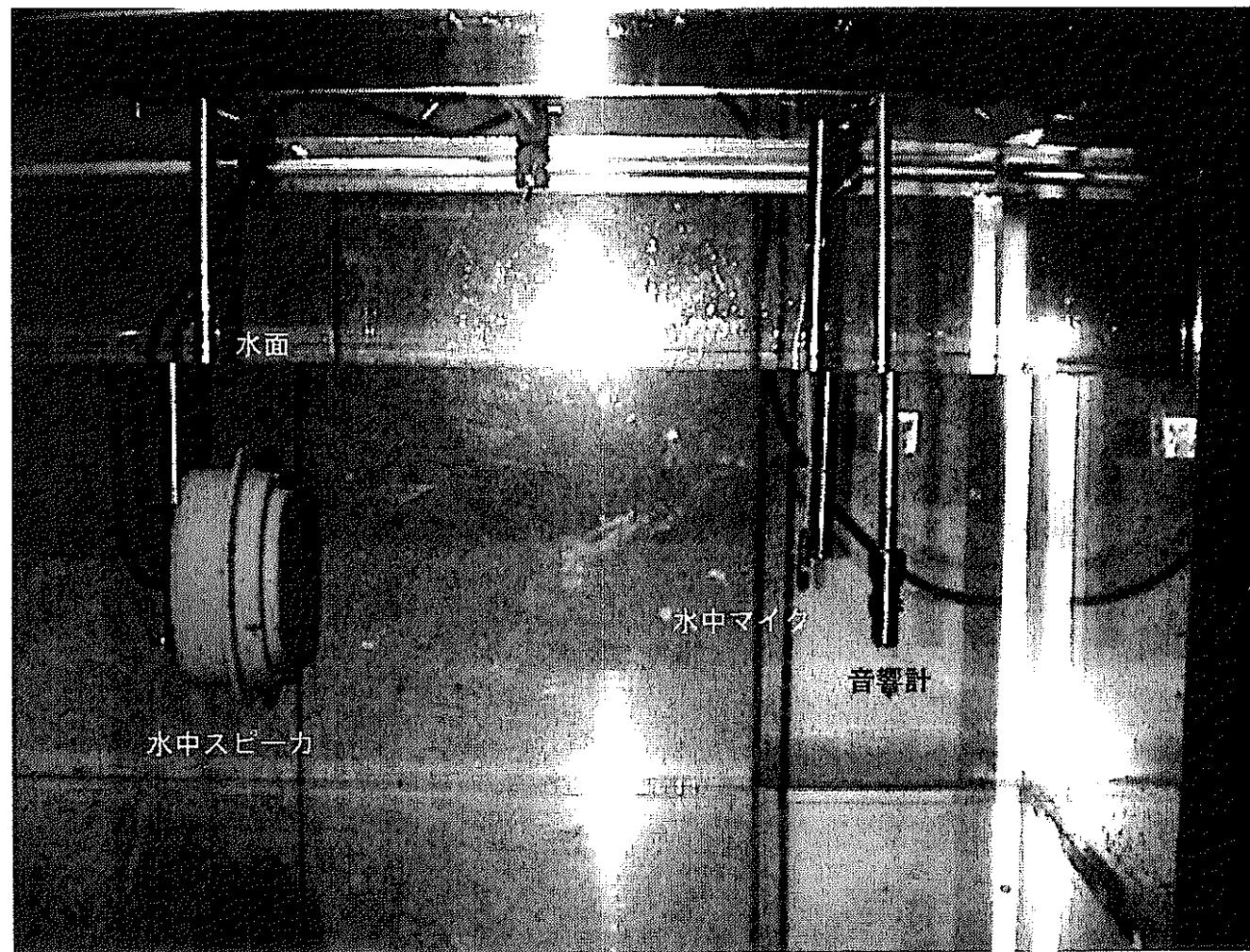


図3.1-2 周波数特性測定用水槽

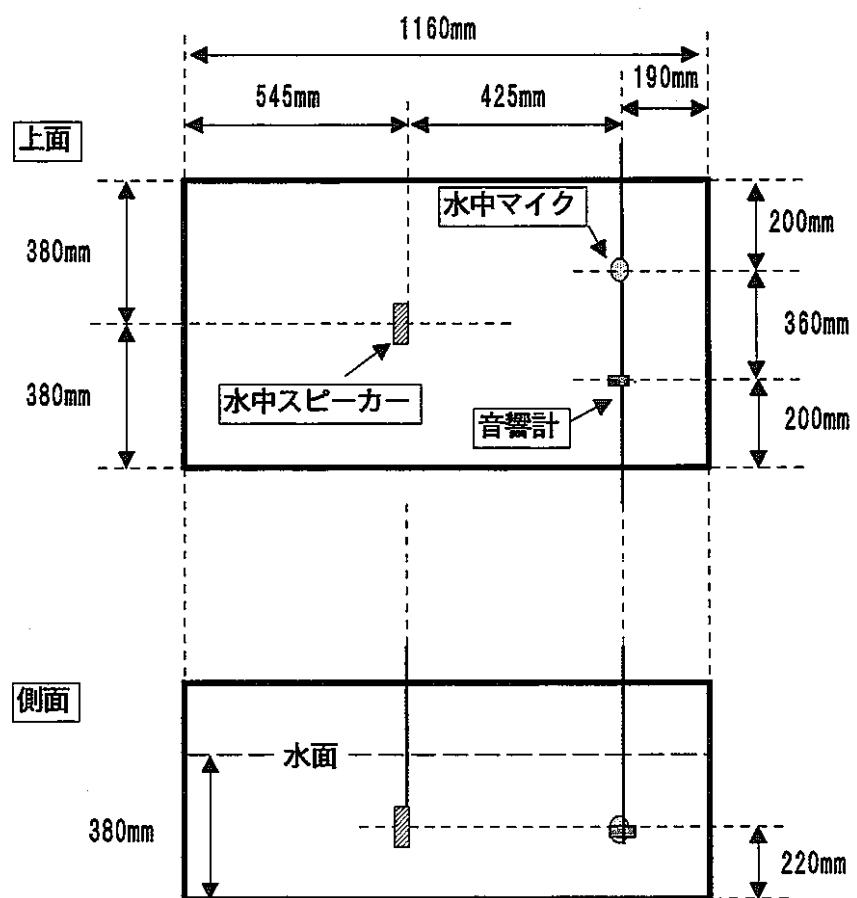


図3.1-3 水中音響試験レイアウト

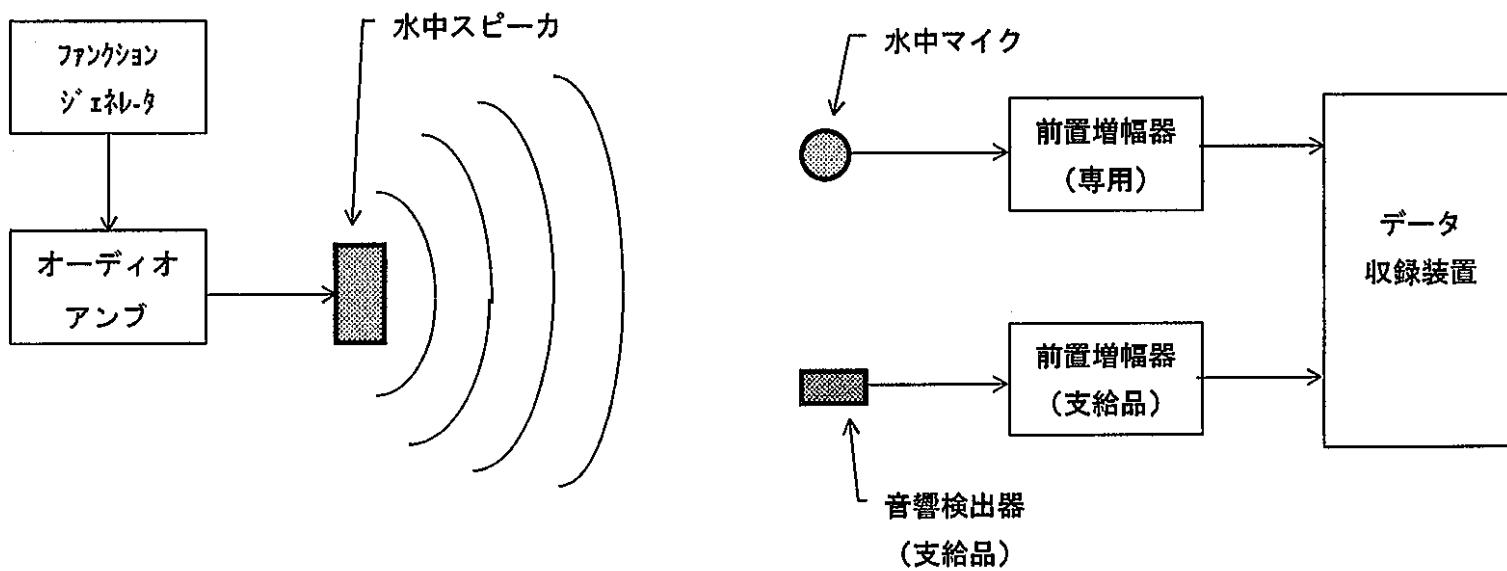


図3.1-4 計測装置の構成



**Calibration Chart for
Hydrophone Type 8103**

Brüel & Kjær Serial No. 1712573

Reference Sensitivity at 250 Hz* at 23 °C
including 6m integral cable

Cable Capacitance 95 pF/m typical

Open Circuit Sensitivity:

Voltage Sensitivity:

-211.4 dB re 1 V/μPa** or 21.9 μV/Pa

Charge Sensitivity: $105 \cdot 10^{-3}$ pC/Pa

Capacitance (including 6m cable) 3900 pF

Leakage Resistance: 2.500Ω MΩ at 23 °C

Frequency Response:

Individual Free Field Frequency Response Curve attached

Date 93.12.09. Signature L. H.

Summarized Specifications

Usable Frequency Range: 0.1 Hz to 180 kHz +2 dB -10 dB

Linear Frequency Range:

0.1 Hz to 20 kHz +0.5 dB -1.5 dB

0.1 Hz to 100 kHz +0.5 dB -3.5 dB

Horizontal Directivity 100 kHz: (XY-plane)
typical ±2 dB

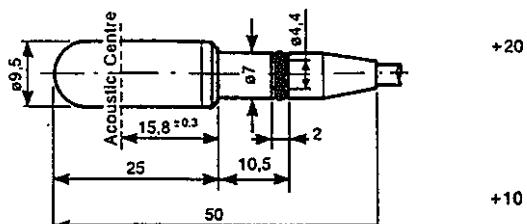


Vertical Directivity 100 kHz: (XZ-plane)
typical ±4 dB



BC 0094-13

Physical (mm):



860224

+20

+10

dB

Operating Temperature Range:

Short term -40°C to +120°C

Continuous -40°C to +80°C

0

Change of Sensitivity with Temperature:

Charge 0 to 0.03 dB/°C

Voltage 0 to -0.03 dB/°C

0

Change of Sensitivity with Static Pressure:

0 to -3×10^7 dB/Pa

(0 to -0.03 dB/atm)

0

Temperature Transient Sensitivity: <50 Pa/°C
(ANSI S.2.11-1969); measured with B & K Charge Preamplifier Type 2626, LLF 3 Hz

-10

Allowable Total Radiation Dose: 5×10^7 Rad

Acceleration Sensitivity: <130 dB re 1 μPa/ms⁻²

-20

Maximum Operating Static Pressure:
 4×10^6 Pa (40 atm)

Cable: Double shielded low noise

Weight including 6m cable: 170g

For further information see instruction manual

-30

* Traceable to NBS

** 1 Pascal = 1N/m² = 10 μbar

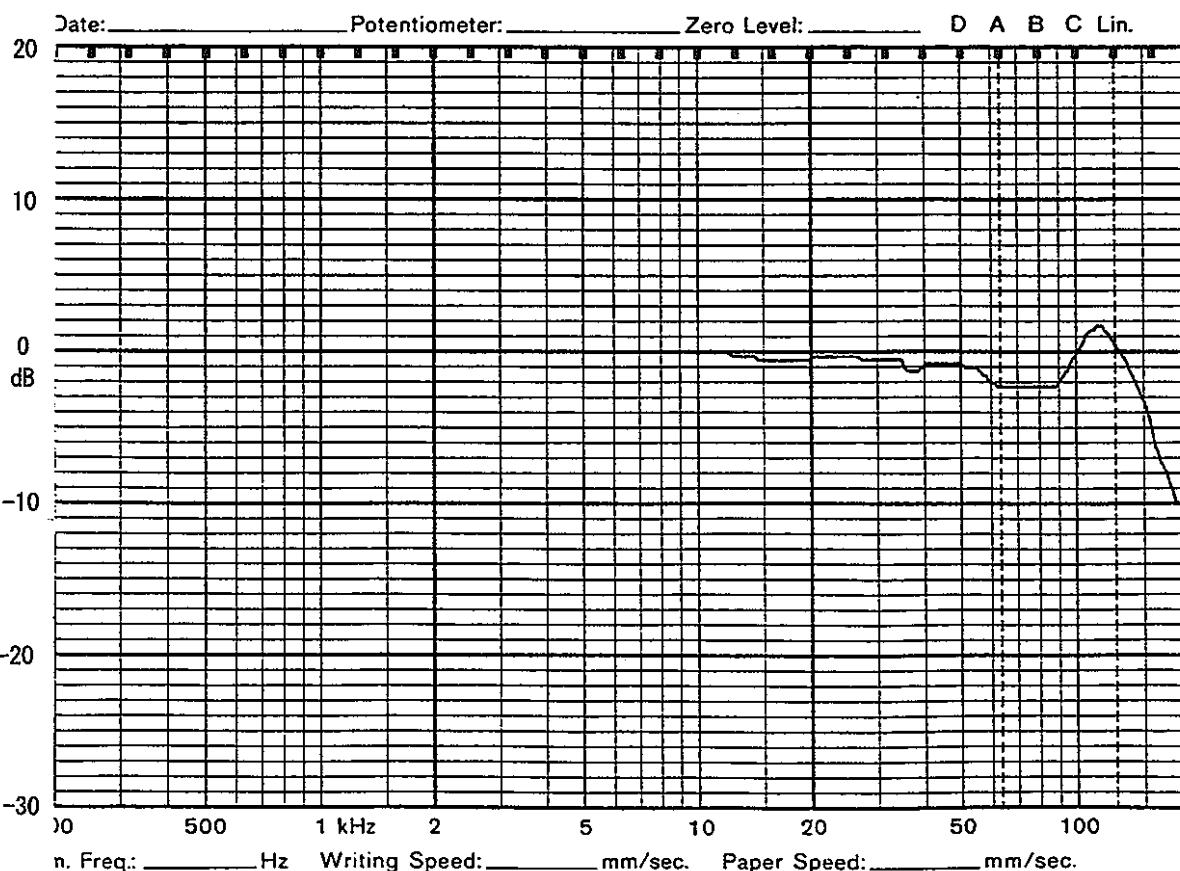
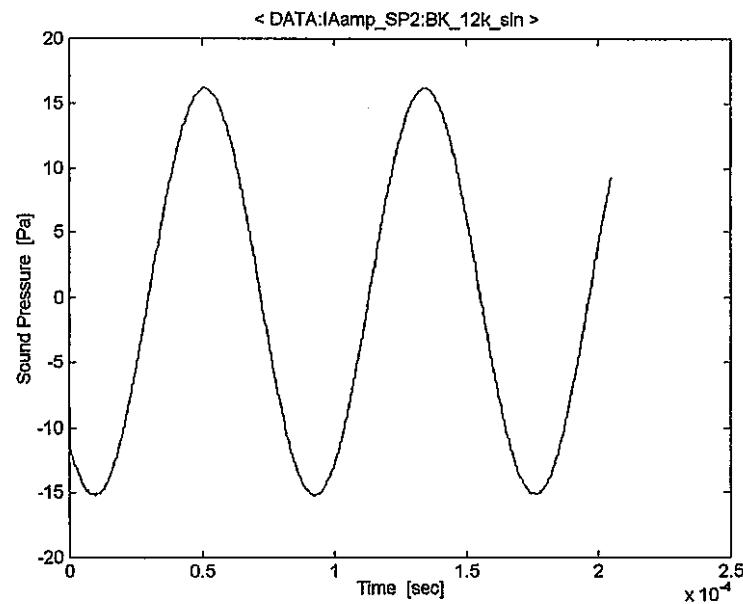
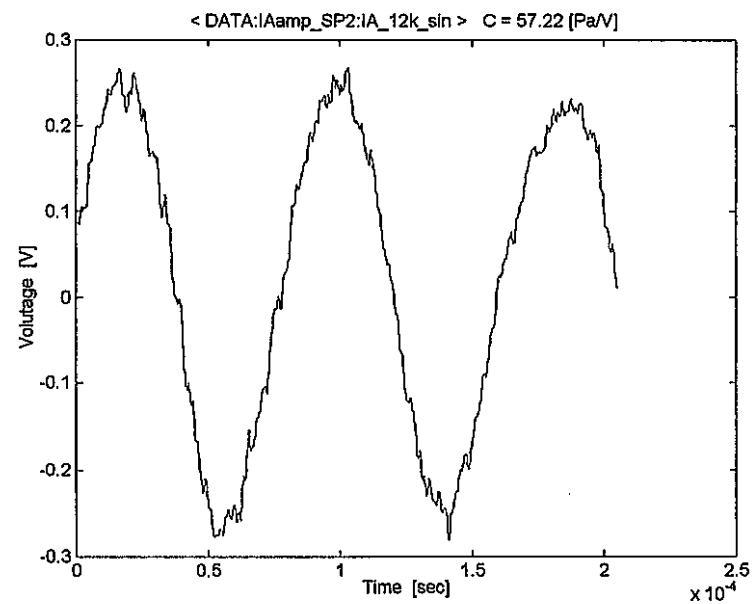


図3.1-5 BK Type8103水中マイクロホン仕様

12 KHz



BK 水中マイクロホンの波形

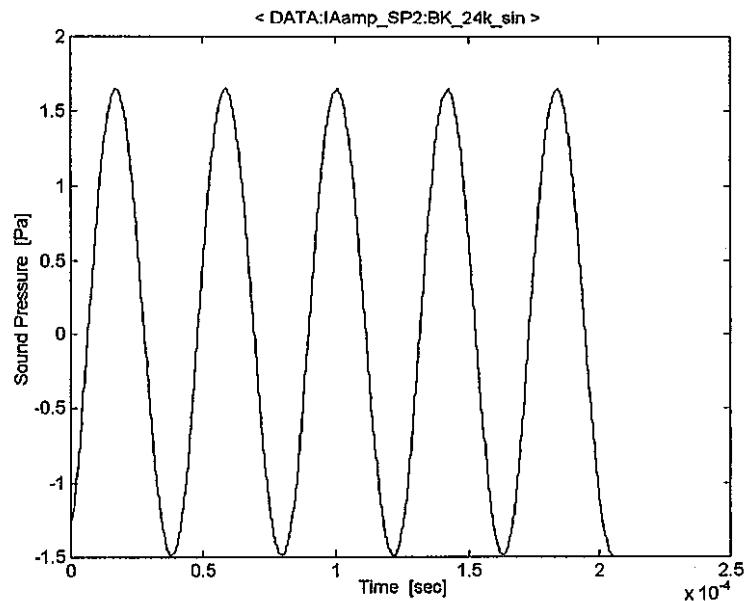


音響計の波形

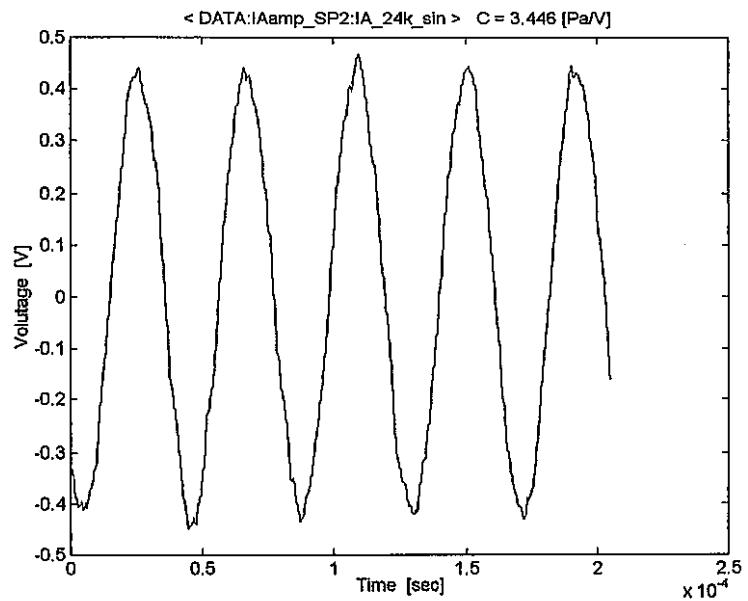
図3.1-6 12KHz発振時の出力波形

24 KHz

15



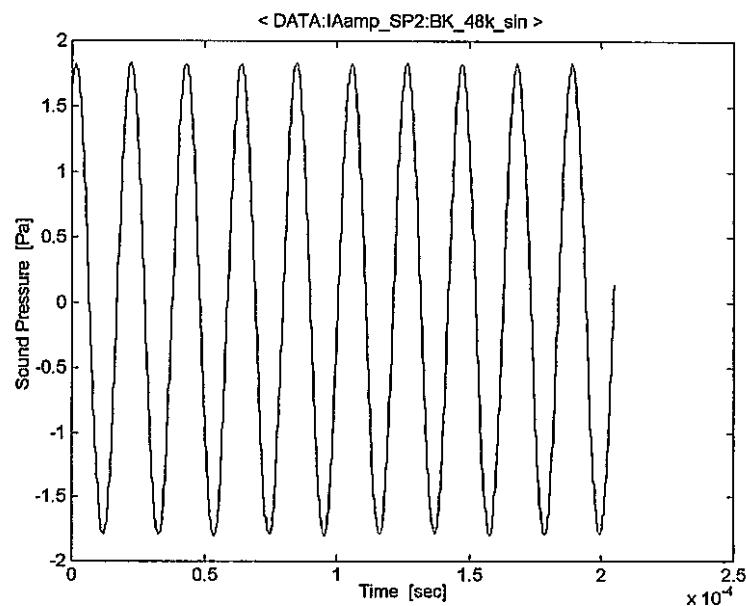
BK 水中マイクロホンの波形



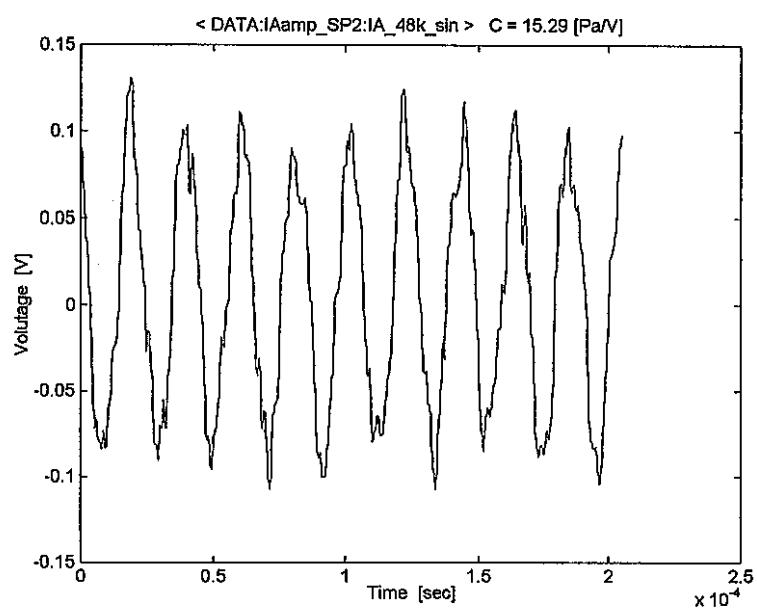
音響計の波形

図3.1-7 24KHz発振時の出力波形

48 KHz



BK 水中マイクロホンの波形

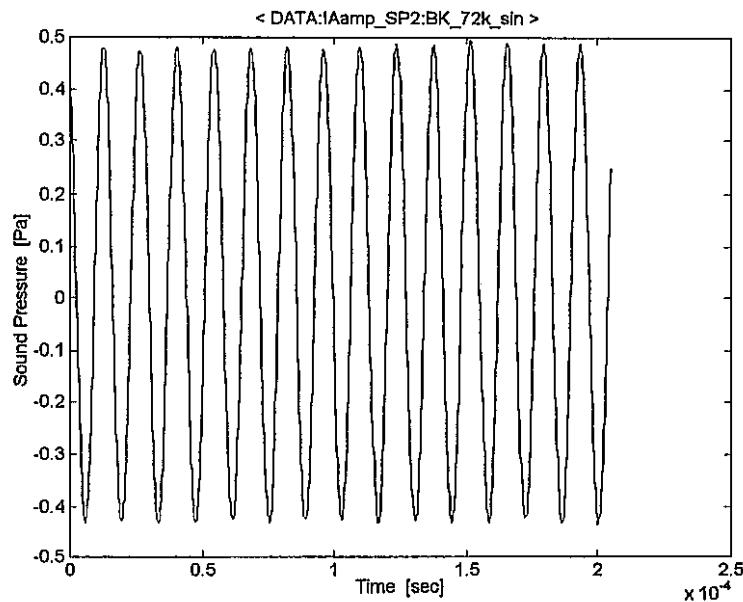


音響計の波形

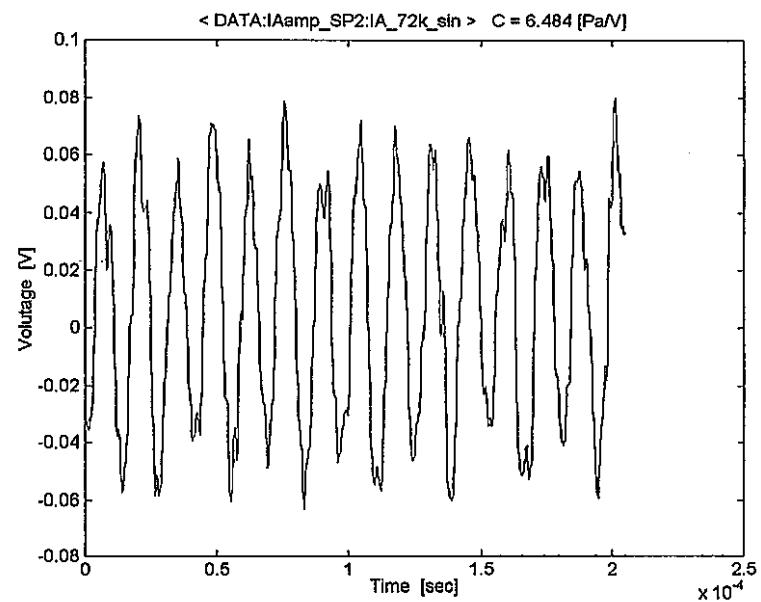
図3.1-8 48KHz発振時の出力波形

72 KHz

17



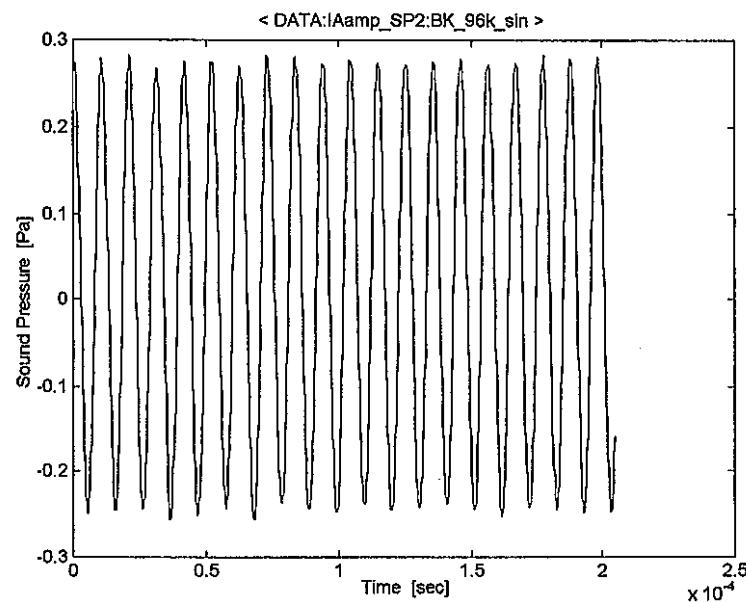
BK 水中マイクロホンの波形



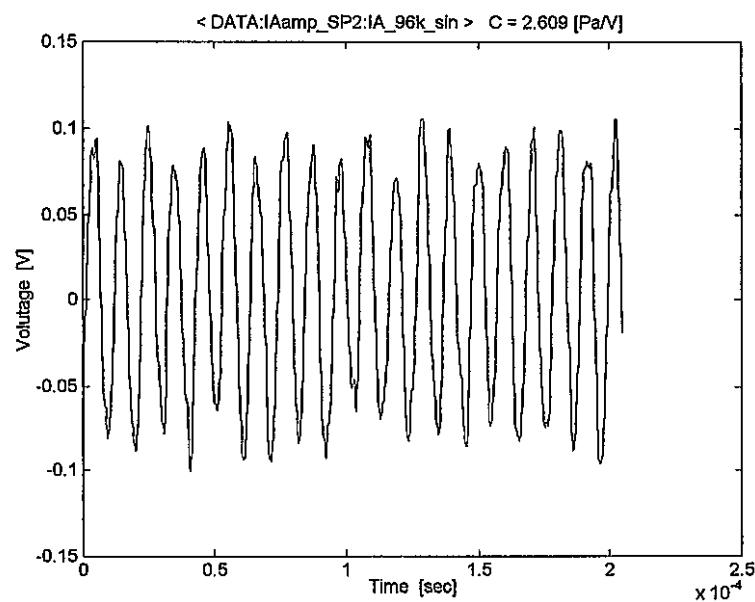
音響計の波形

図3.1-9 72KHz発振時の出力波形

96 KHz



BK 水中マイクロホンの波形

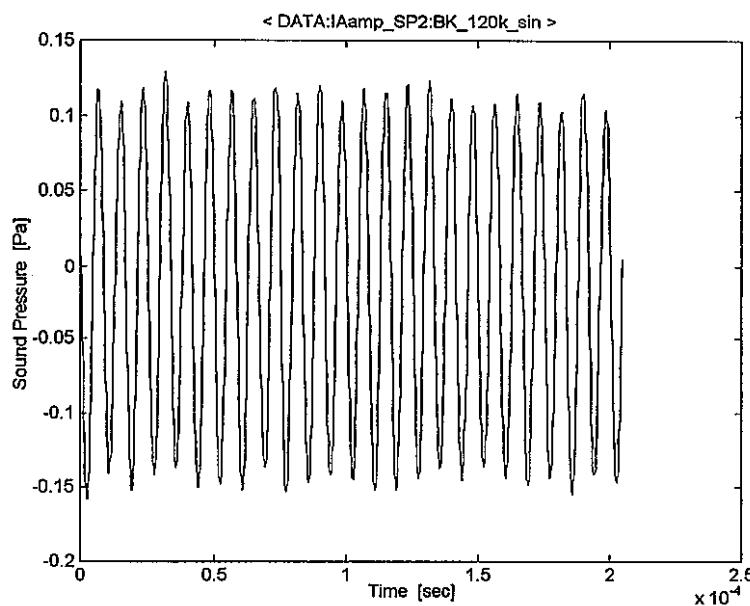


音響計の波形

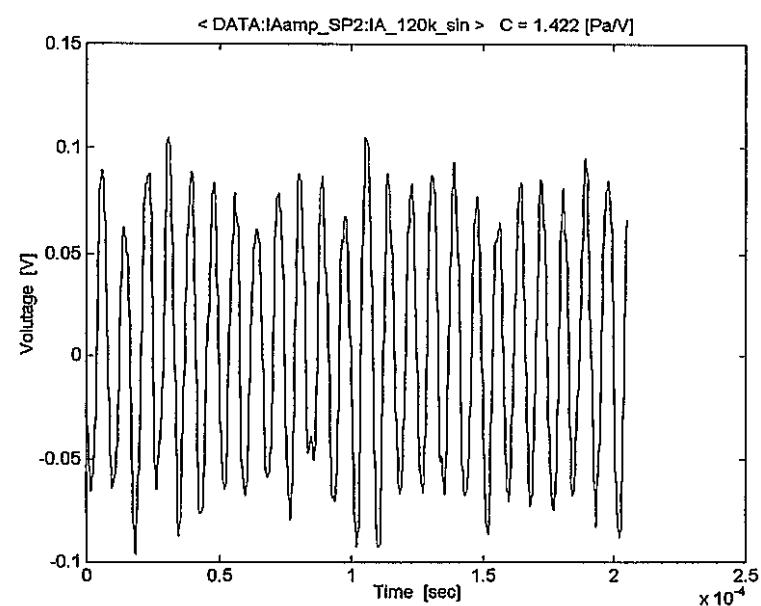
図3.1-10 96KHz発振時の出力波形

120 KHz

19



BK 水中マイクロホンの波形

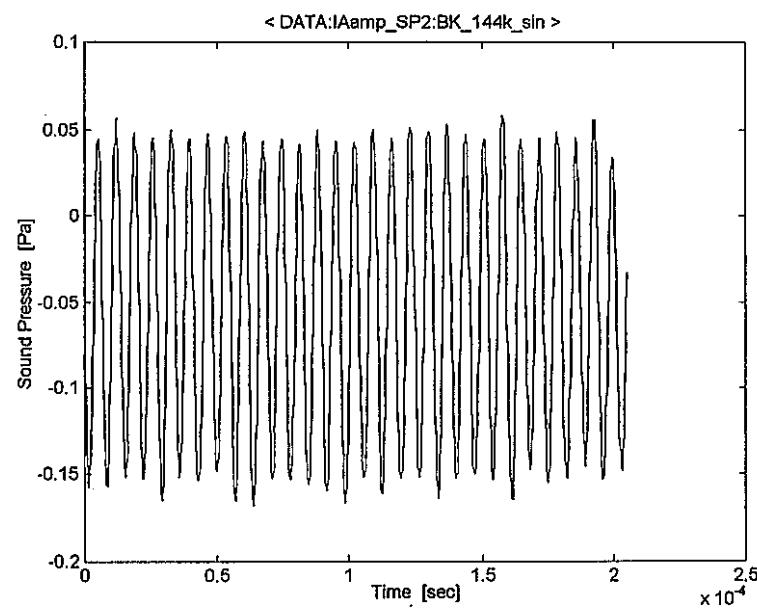


音響計の波形

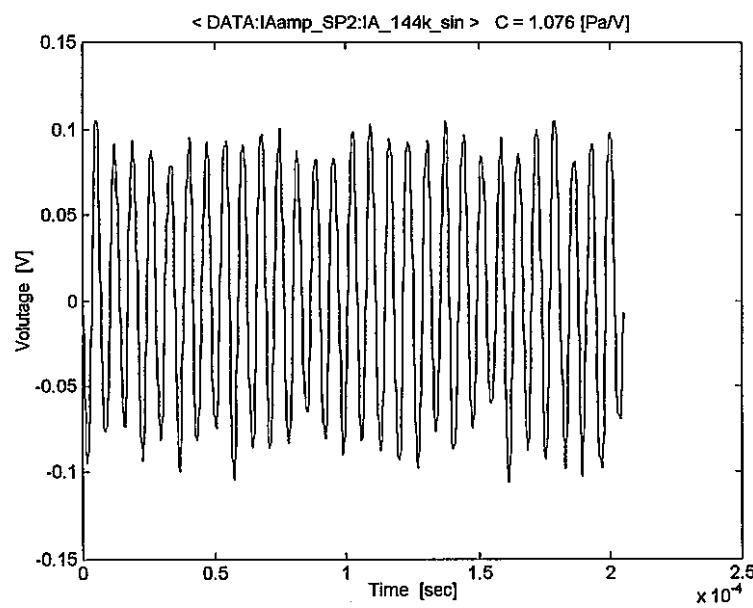
図3.1-11 120KHz発振時の出力波形

144 KHz

20



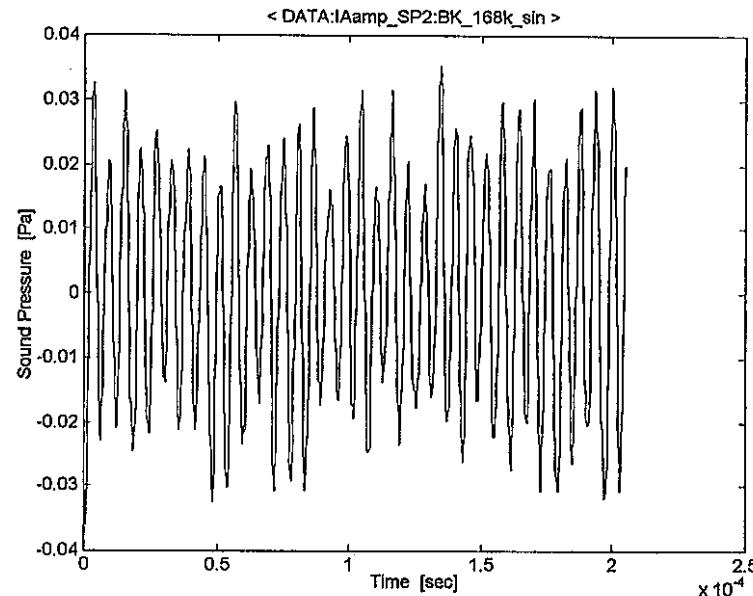
BK 水中マイクロホンの波形



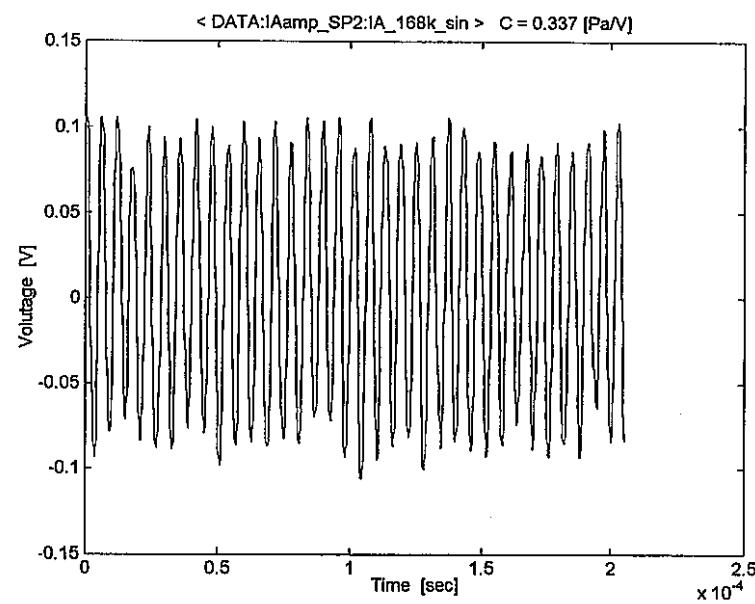
音響計の波形

図3.1-12 144KHz発振時の出力波形

168 KHz



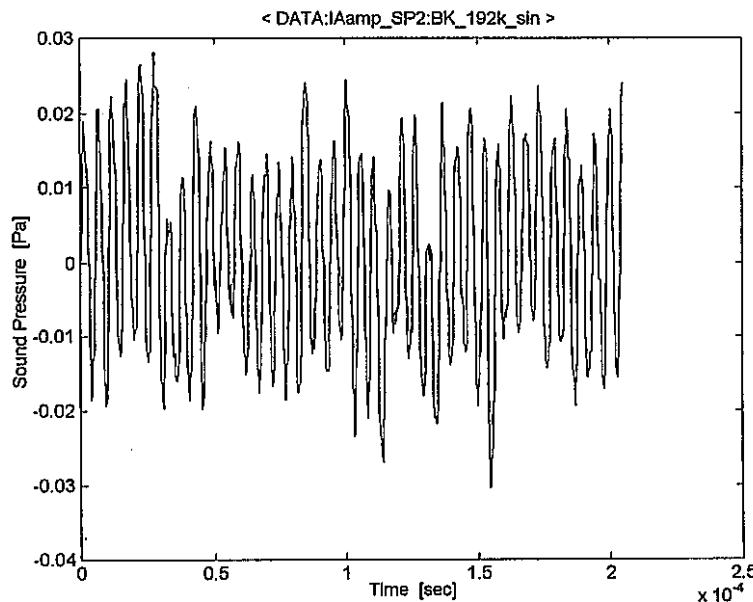
BK 水中マイクロホンの波形



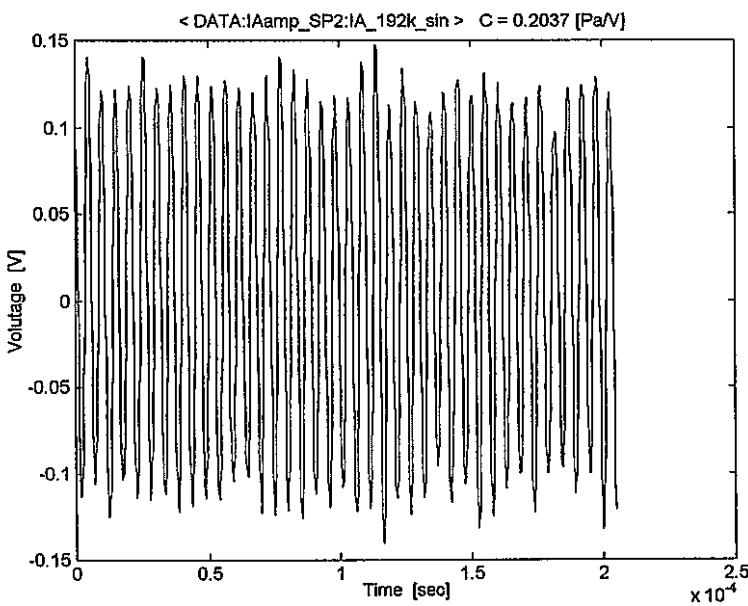
音響計の波形

図3.1-13 168KHz発振時の出力波形

192 KHz



BK 水中マイクロホンの波形



音響計の波形

図3.1-14 192KHz発振時の出力波形

音響計周波数特性

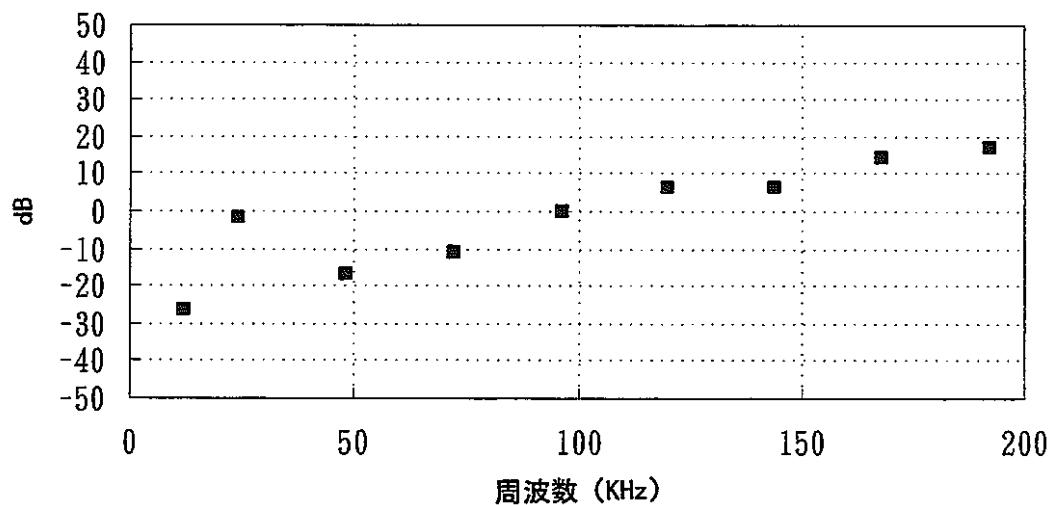


図3.1-15 音響計の周波数特性 (96KHz・0dB=0.31V/Pa)

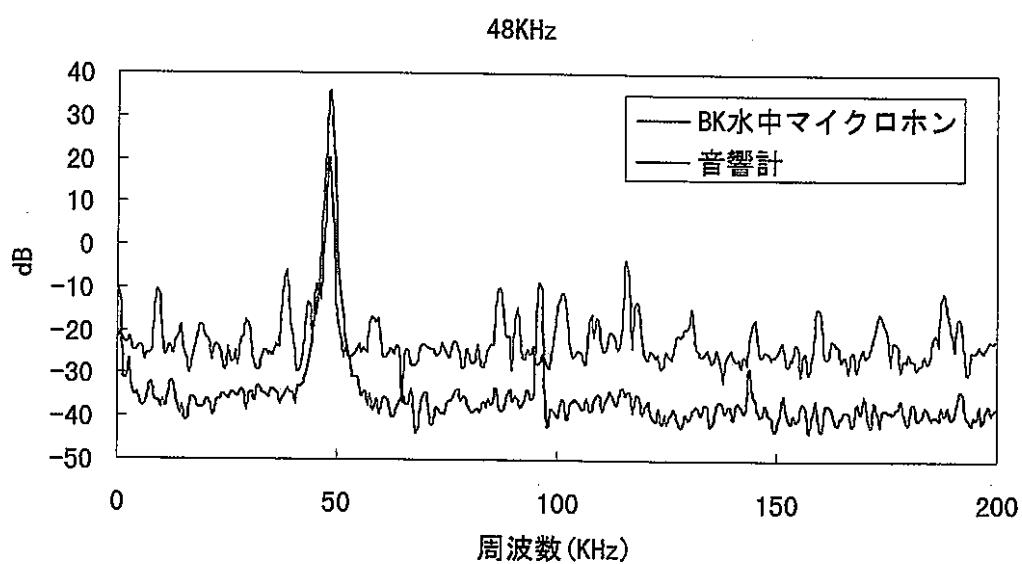


図3.1-16 48KHz音響発振時の観測波形の周波数分析

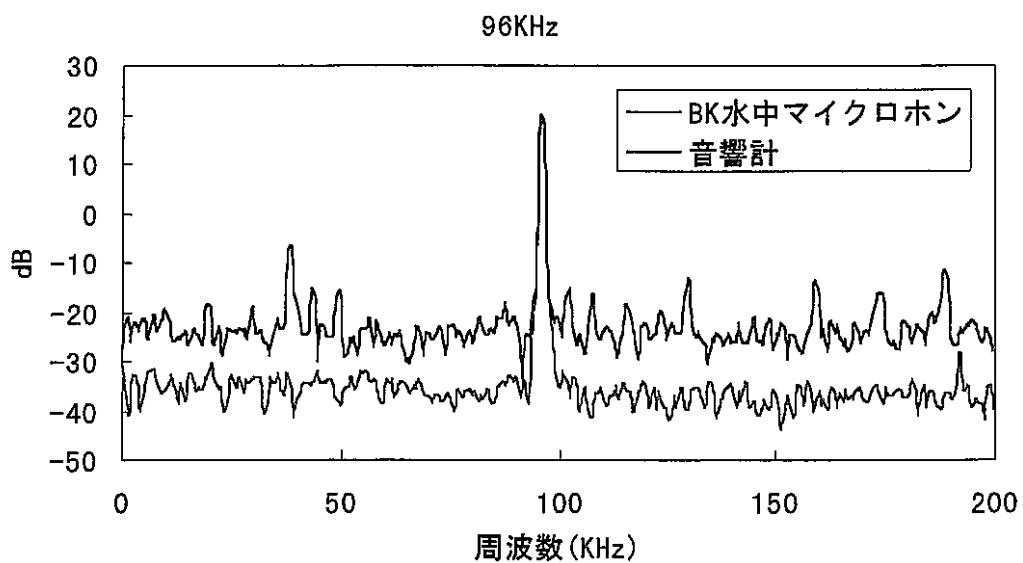


図3.1-17 96KHz音響発振時の観測波形の周波数分析

3.2 X線による内部観察及び分解調査

内部観察及び分解調査は、音響検出器の性能確認の前に実施したことから、X線による手法を採用した。図3.2-1に音響検出器の全体外観写真、図3.2-2にセンサー・ヘッド部の外観写真及び図3.2-3にコネクタ部の外観写真を示す。

本調査では、音響検出器の内部構造をX線撮影により観察した。更に、X線による観察の後、M I ケーブルを内蔵したケーブルサポートを切断してその内部構造を観察した。また、X線撮影の前とケーブルサポート部の切断後に絶縁抵抗測定及び静電容量測定を行い、検出器の異常の有無を確認した。以下にこれらの調査結果を示す。

(1) 受け入れ時及びX線撮影後の検査結果

調査対象の音響検出器は、受け入れ時とX線撮影及びケーブルサポート切断後に、絶縁抵抗及び静電容量測定を行い、検出器に異常がないことを確認した。検査結果を表3.2-1に示す。

なお、検査に使用した計測器及び計測条件は以下に示す通りである。

・ 絶縁抵抗測定

測定装置 : 横河ヒューレットパッカード 社製
4392A HIGH RESISTANCE METER

試験電圧 : 50 VDC

・ 静電容量測定

測定装置 : 國洋電機工業 社製
LCRメータ Model KC-536
試験電圧 : 0.15 VAC
試験周波数 : 1 KHz

(2) X線撮影による検査結果

各種のX線強度で撮影したセンサ・ヘッド部の撮影結果を図3.2-4から図3.2-6に示し、これらの観察結果に基づいて作成した音響センサの内部構造図を図3.2-7に示す。

図3.2-7中で、ダイヤフラムと記載している部分が受音部であると推定される。

センサ・ヘッド内部には、厚さが5mm、直径13mm程度の部材が観察された。これは、圧電素子を固定し、電極間の絶縁を行うための素子支持部材（おそらく、セラミック製）と考えられる。

この素子支持部材とダイヤフラムの間には、直径が7～8mmで内径が3mm程度の薄いワッシャー状の板のようなものが多数重なっているのが観察される。

外部から導かれた2本のリード線は、1本が素子支持部材に巻きつくように固定され、もう一つは素子支持部材の真ん中を貫通し、素子支持部材の端の近くあたりまで延びている細長い針状の部材に接続されている。この針状に見えるものは、電極であると考えられる。これが電極だとすれば、ニオブ酸リチウムの単結晶の圧電素子の片端が接しているはずである。このため、圧電素子がこの複数のワッシャー状の板材の内部に配置されていると考えると素子の形状は、直径が3mm、長さが10mm程度の円筒状をしていると考えられる。ただし、ダイヤフラム面と素子の接合状況は、X線撮影の結果では確認することができなかった。

これは、X線撮影では、ニオブ酸リチウムの圧電素子は、ケース材料のステンレスに比べると比重が格段に小さいため、ニオブ酸リチウムの圧電素子があるのか單なる空洞なのかを区別することは難しいためである。そのため、圧電素子がワッシャー部の内側で空洞であったり、圧電素子が素子支持部材の中にかくれている可能性も否定することはできない。

ナトリウム中を伝播してきた音を受信するダイヤフラムの厚さは、1.5 mmと判断される。この厚さは、200kHz以下の低周波では波長に比べて充分小さいため特に問題とならない。

センサケース外面に溶接部があり、TIG溶接又はEBWと思われる。（図3.2-7の数字1～4）またケース内部にろう付部が見られ、素子とリード線等が接続されている。（図3.2-7の△印）

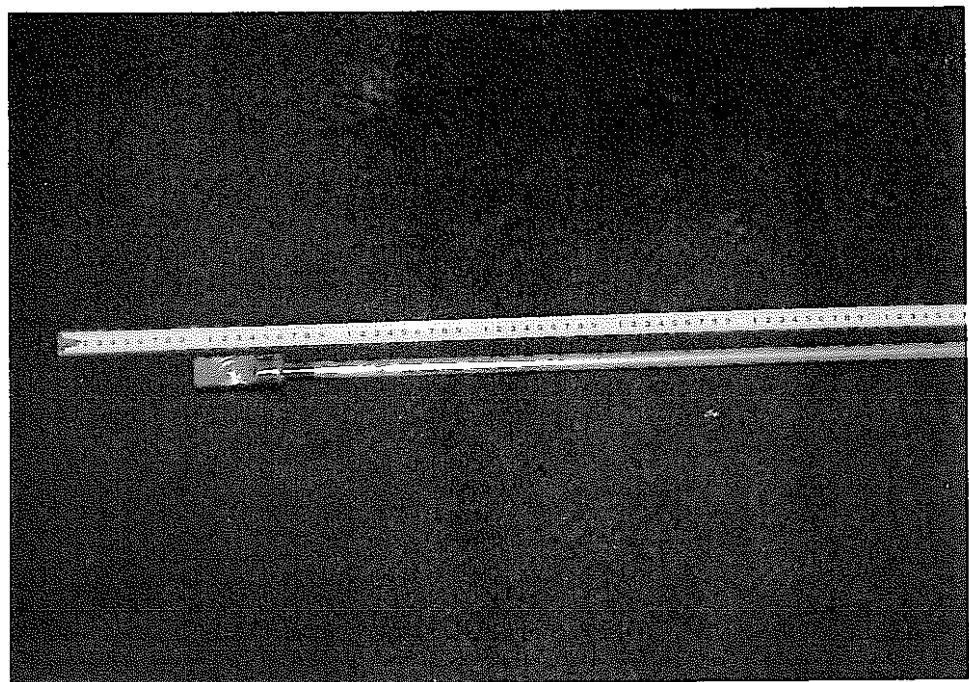
(3) ケーブルサポートの切断

音響検出器のセンサー部から1m程度の位置とコネクタ部から30cm程度の2箇所でケーブルサポートを切断し、断面を観察した。

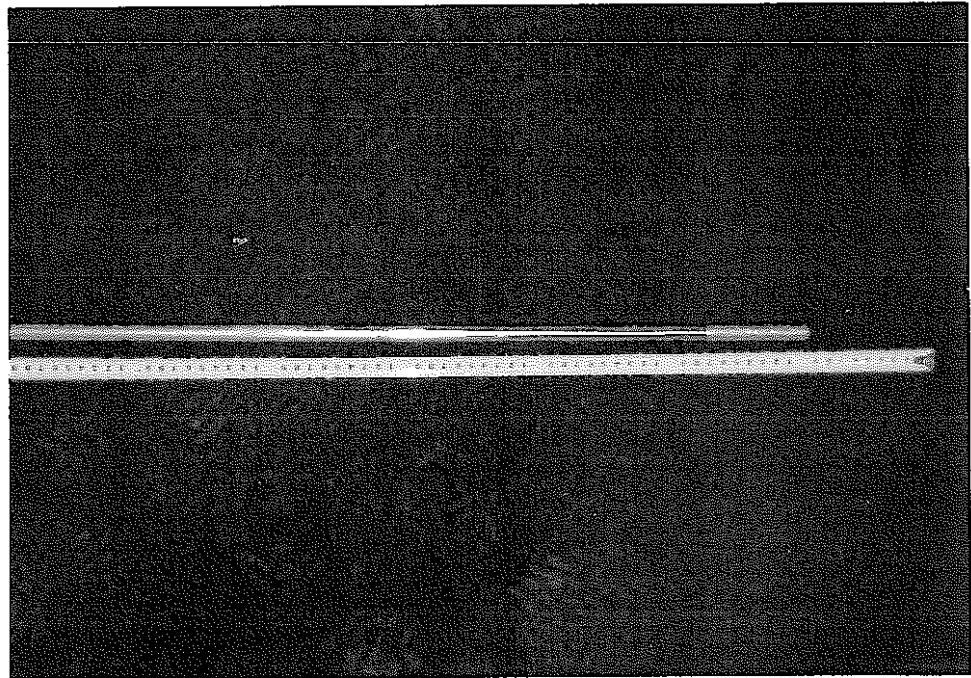
ケーブルサポート内のMIケーブルは、ステンレスで被覆されその中を2芯ケーブルがコネクタ部までつながっている。また、MIケーブルの他に単線がケーブルサポートの途中、センサヘッド先端から1280mmの位置まで配線され、そこで止まっていた。このように、センサヘッド側の切断位置では2本のケーブルが観察され、コネクタ側の切断位置では1本のMIケーブルのみが確認された。（切断写真を図3.2-8及び図3.2-9に示す。）

表3.2-1 調査対象の音響検出器の仕様

検査項目	検査時期	検査データ	判定結果
絶縁抵抗測定 (試験電圧50V)	受入時	Pin1-ハウジング間: $2.1 \times 10^3 \text{ M}\Omega$	特に変化は無く 問題無し。
		Pin2-ハウジング間: $2.1 \times 10^3 \text{ M}\Omega$	
	切断後	Pin1-Pin2間 : $4.4 \times 10^3 \text{ M}\Omega$	
静電容量測定 (試験電圧 0.15V)	受入時	260 pF	ケーブル保護チューブ 切断に応じた値 となっており問 題無し。
		130 pF	
	切断後	(ケーブル保護チューブを1m程度に 切断)	

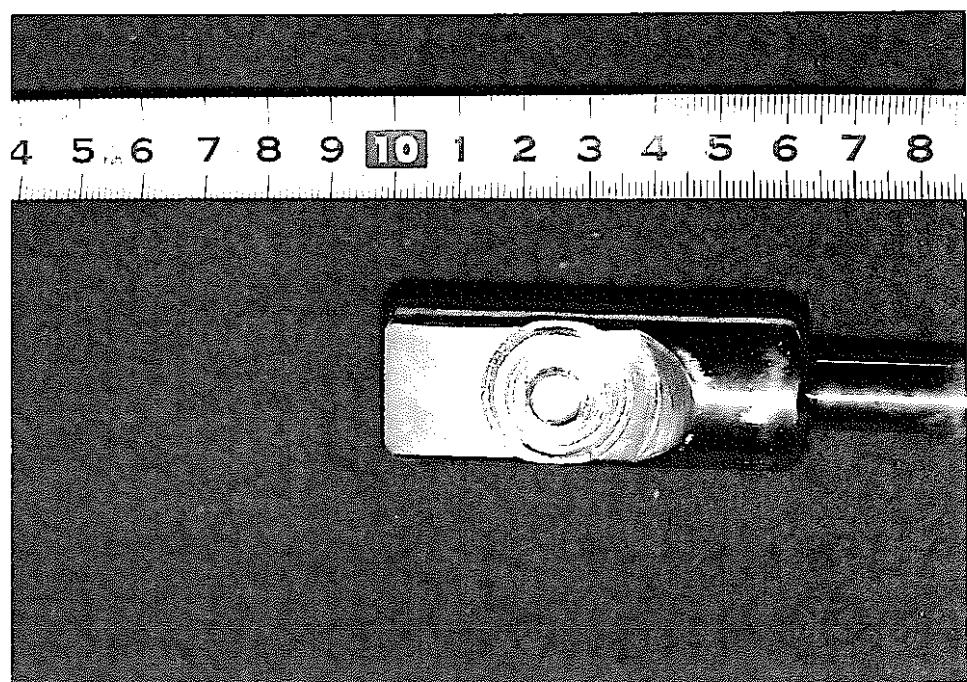


a. センサヘッド部

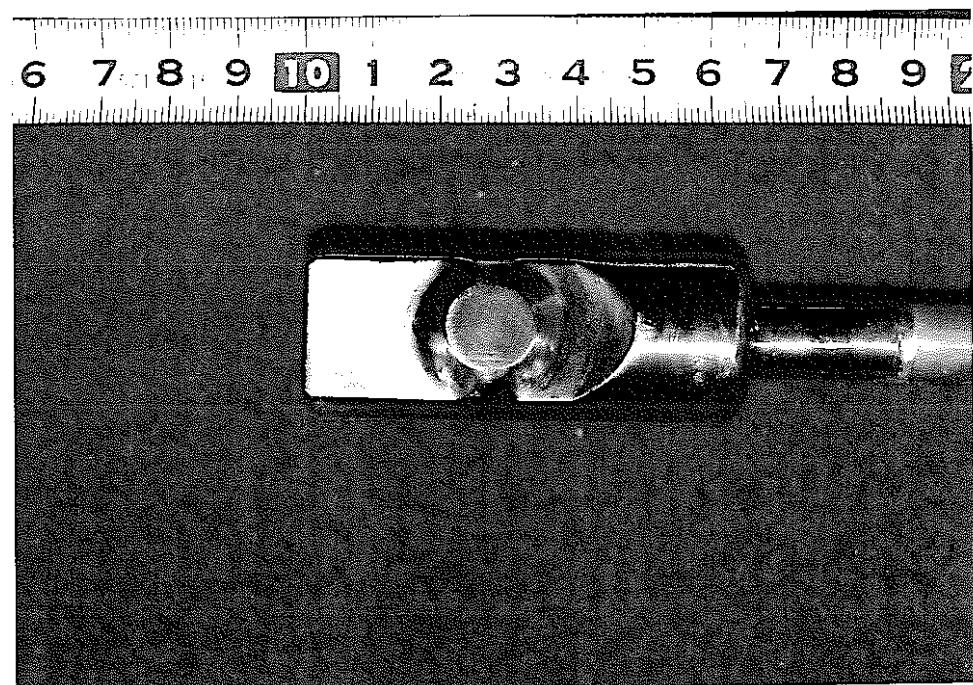


b. コネクタ部

図3.2-1 音響検出器の全体外観



a. 受音部



b. 裏 側

図3.2-2 センサヘッドの外観 (1/2)

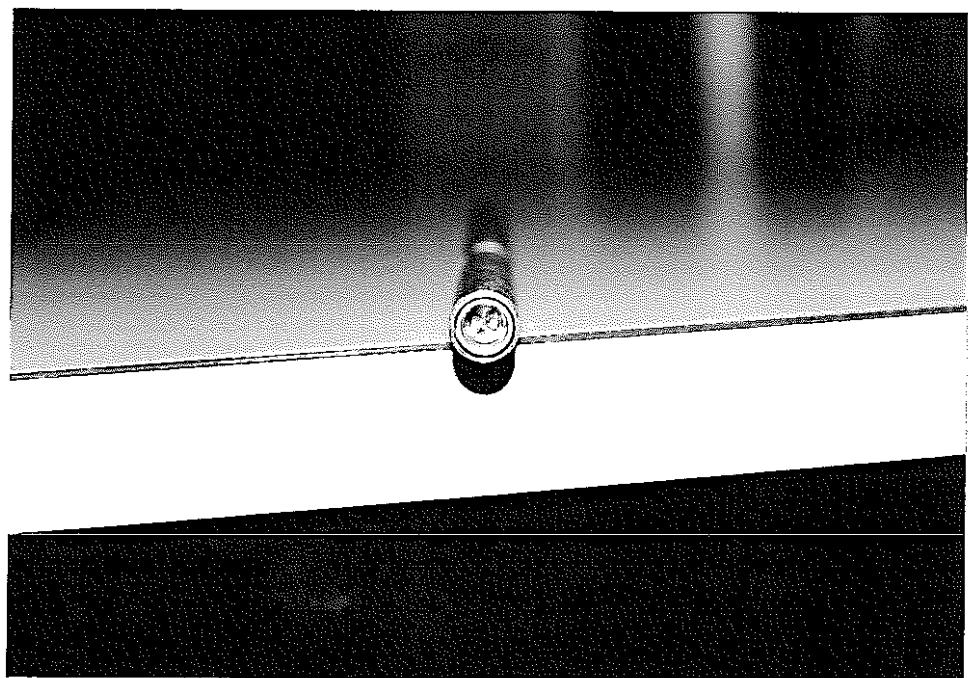


図3.2-3 コネクタ部の外観

正面

側面

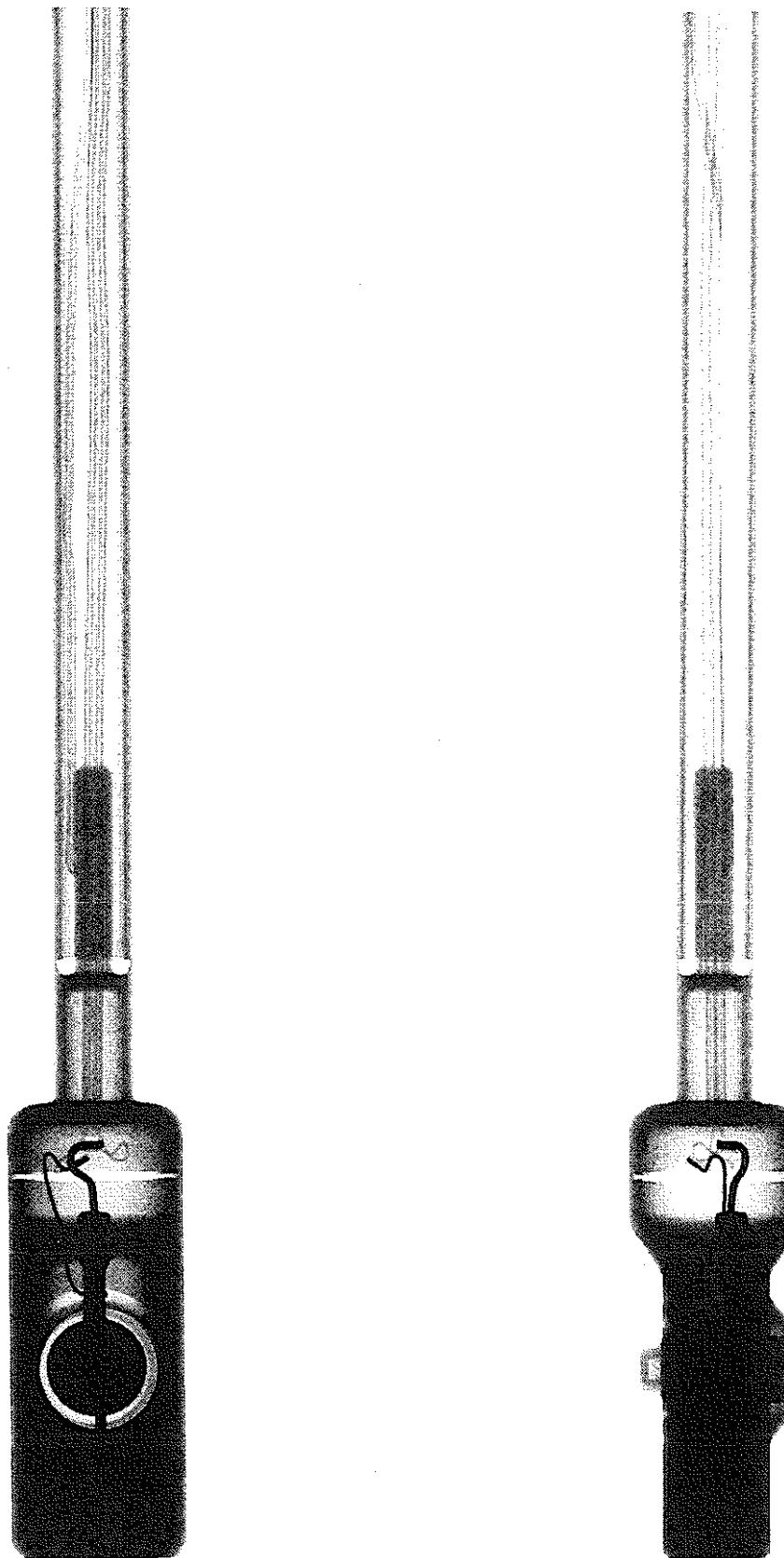


図3.2-4 センサヘッド部の透過写真（X線強度弱）

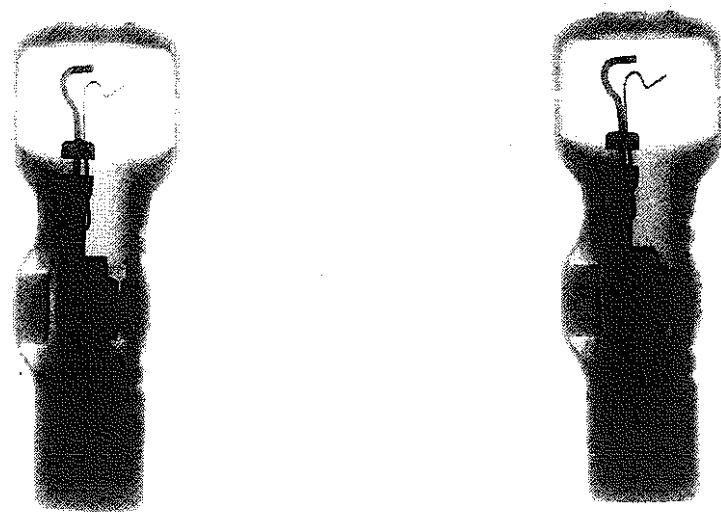


図3.2-5 センサヘッド部の透過写真（X線強度中）

正面

側面

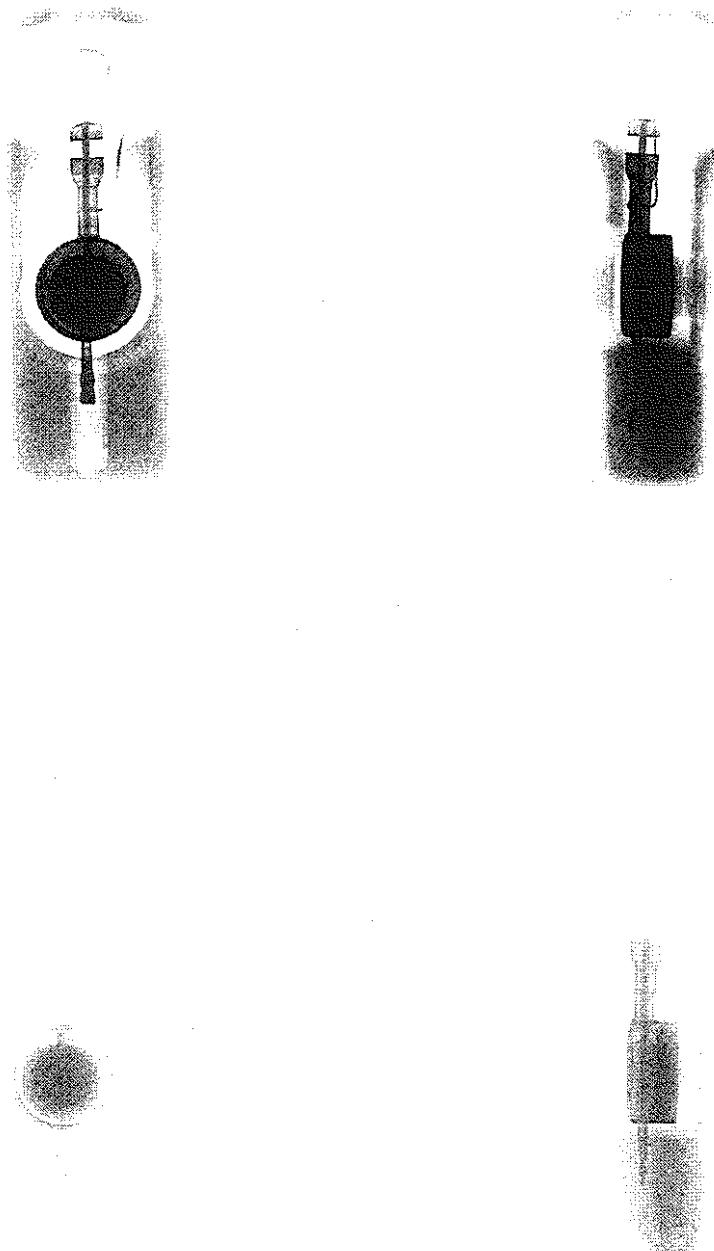
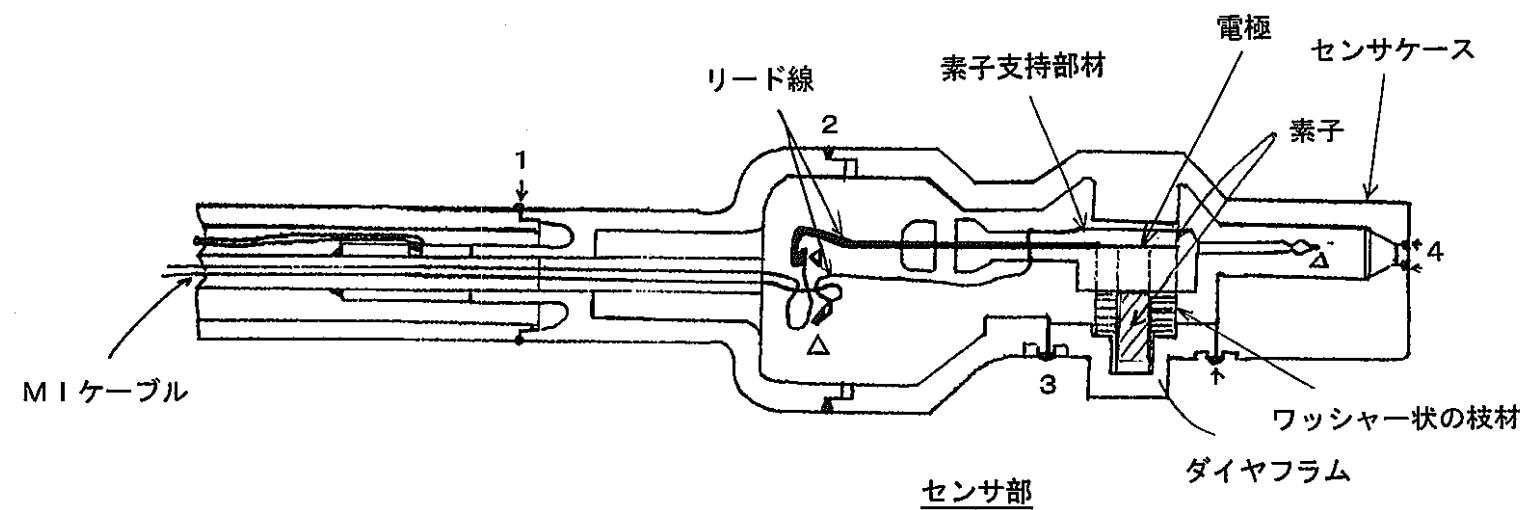


図3.2-6 センサヘッド部の透過写真（X線強度強）



34

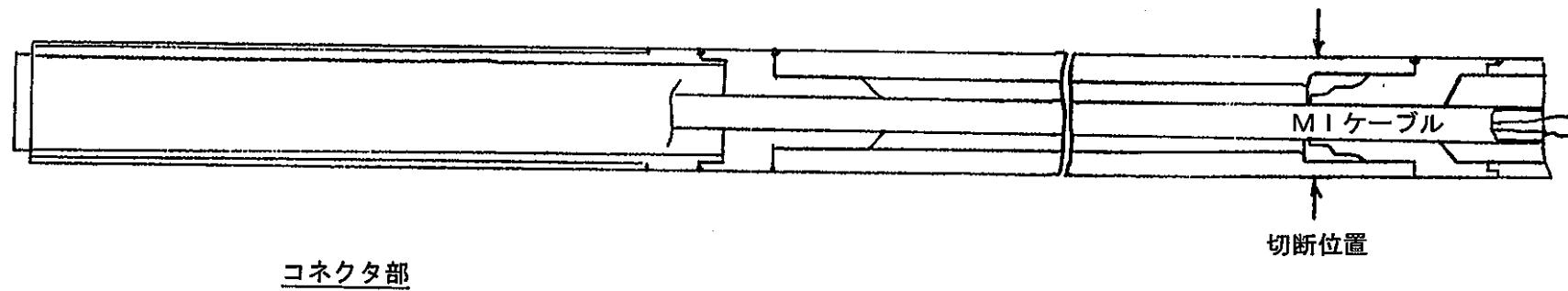
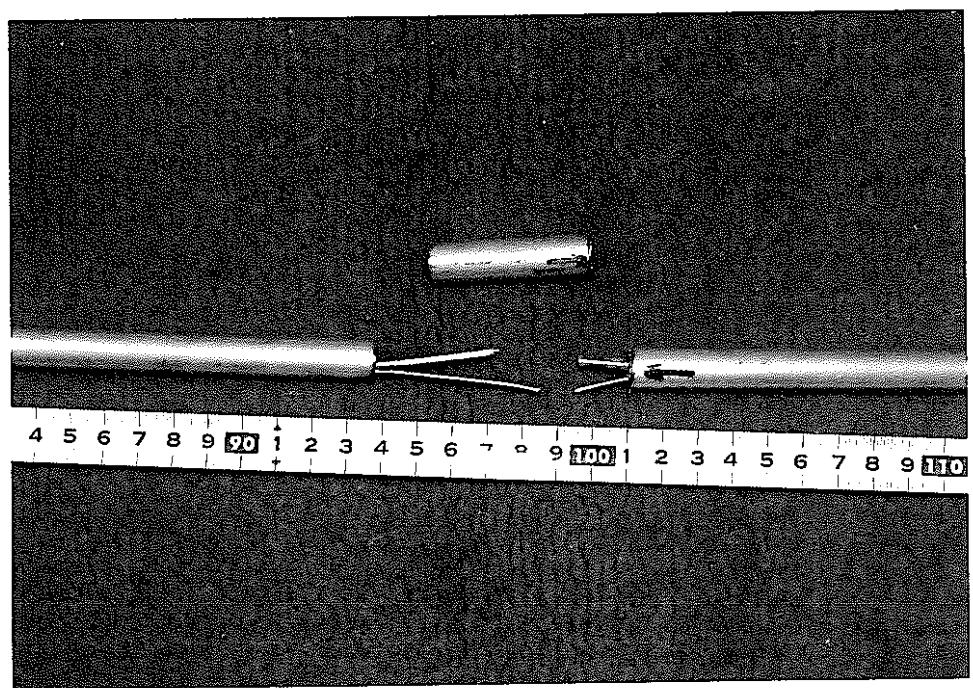
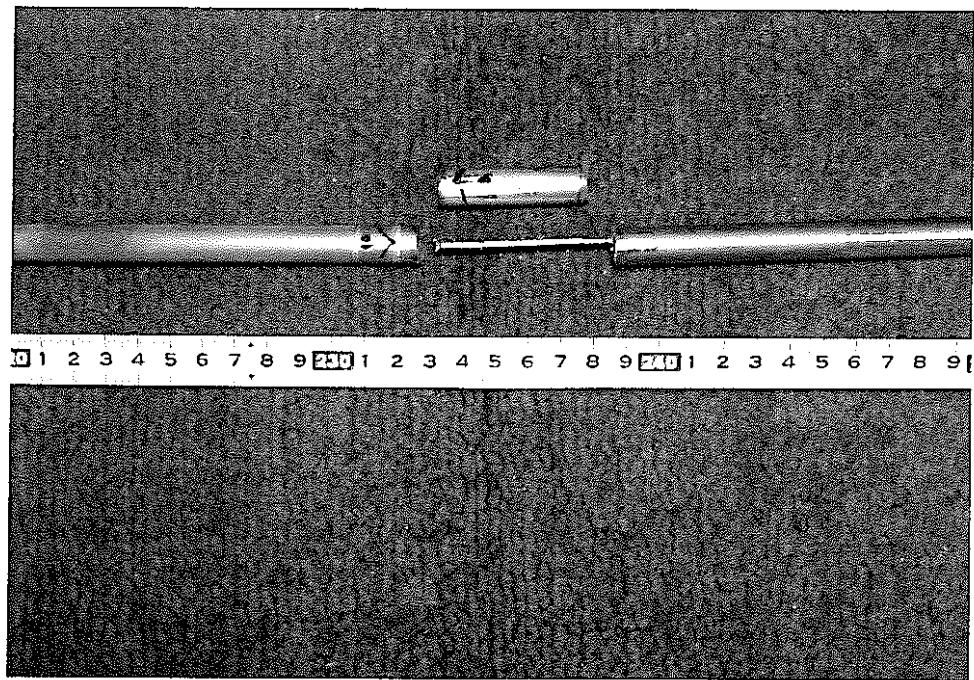


図3.2-7 センサ内部構造図

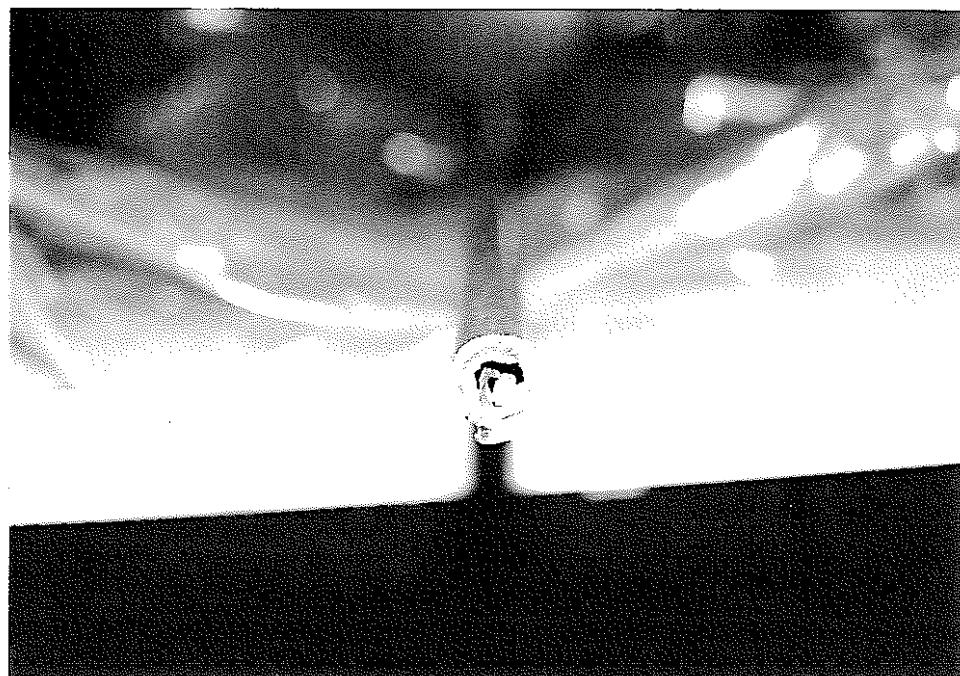


a. センサ側

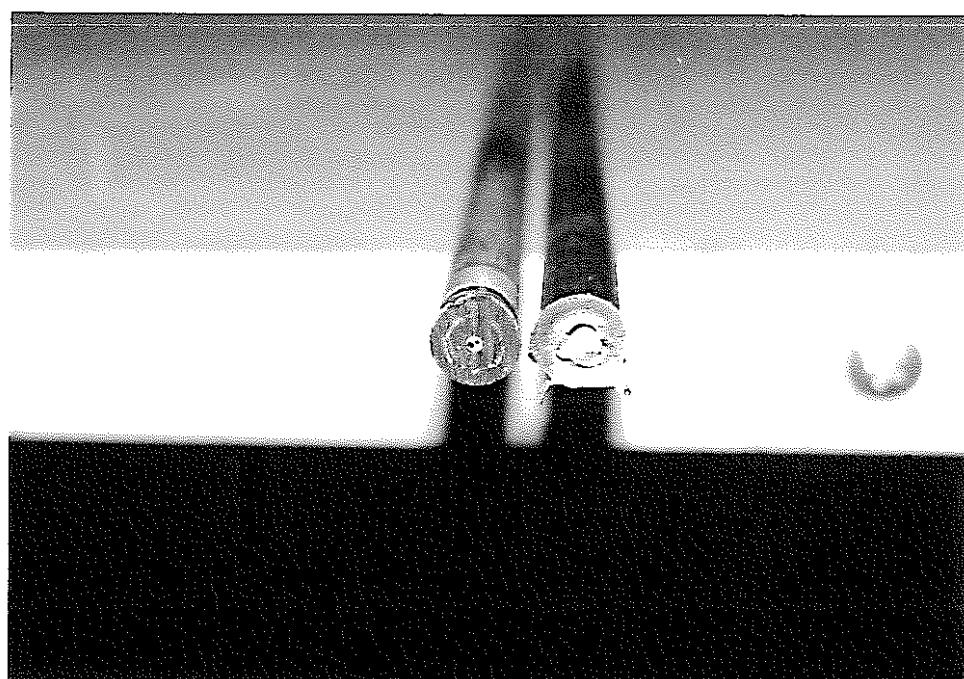


b. コネクタ側

図3.2-8 保護チューブの切断状況



a. センサ側



b. コネクタ側

図3.2-9 保護チューブの切断面

3.3 音響検出器の機能推定

以上の検討結果に基づき、調査対象の音響検出器の機能確認及び推定を行った結果を以下に示す。

(1) 感度

音響検出器の感度は、3.1項の「音響特性の観察」の調査結果で定量的な確認を行い、 -30dB (at 12kHz) $\sim +20\text{dB}$ (at 192kHz) と高周波になるほど良好な特性を有していることがわかった。

(2) 指向性

一般的に音波の指向性（感度が $1/2$ になる片側の角度）は、以下の式で表すことができる。

$$\Theta = \sin^{-1} (0.71 \lambda / d) \quad (1)$$

(Θ : 指向角 [°]、 λ : 波長 [mm]、 d : 振動子径 [mm])

ここで、(1)式を用いて、最も指向角が小さくなる高周波の上限値 200kHz で、振動子径を指向角が小さくなる大きめの 10mm の条件とし、ナトリウム中での指向角を計算すると以下に示すとおり、 62.5° となり、これ以下の周波数では、波長が 12.5mm と振動子径よりも大きくなり、指向角は 90° 以上（検出器の裏側の音も検出）となる。

このため、調査対象の音響検出器は、 200kHz 以下の領域で使用した場合、裏側からの音も受信できる指向性を有していると推定される。

$$\begin{aligned} \Theta &= \sin^{-1} (0.71 \cdot 12.5 / 10) \\ &= 62.5 \\ (\lambda &= 12.5[\text{mm}], d: 10[\text{mm}]) \end{aligned}$$

(3) 周波数帯域

音響検出器の周波数帯域は、3.1項の「音響特性の観察」の試験結果から約 10kHz から約 200kHz の帯域を有していることがわかった。ただし、高周波側の方が感度が良好であり、沸騰音の周波数範囲と考えられている約 $10\sim 100\text{kHz}$ の中間の 50kHz では、今回確認された最高感度（ 200kHz 時）に比べて 40dB （100倍）感度が低いことがわかった。

(4) 耐熱性

調査対象の音響検出器の使用温度は、カタログ値で600°Cである。これは、主に圧電素子の特性劣化（脱酸素による特性劣化で600°C程度から影響が顕著になる）かまたは振動子の接合材の耐熱性により決められていると考えられる。

(5) 耐放射線性

調査対象の音響検出器の放射線条件は、カタログ値で中性子束で 1.0×10^{22} nvt、 γ 線で 4.4×10^{11} Gyである。

3.4 文献調査検討

表3.4-1～表3.4-4にデータベース（JICST）で下記の様な論理式により文献調査した結果を示す。

論理式：(ニオブ酸リチウム) × (音響+超音波) × (中性子+原子炉+放射線)

表 3.4-1 超音波センサ (LiNbO_3) の耐熱・耐放射線に関する文献調査

89A0337535

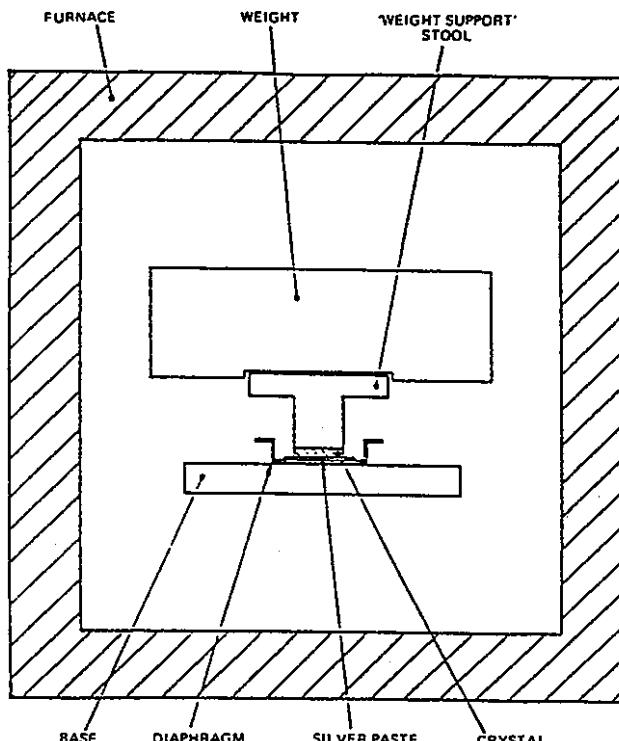
表題	ナトリウム中での観察に用いられる高温用超音波探触子の開発 Development of high-temperature ultrasonic transducers for under-sodium viewing applications.
報告者	FOTHERGILL J R, WILLIS P, WAYWELL S(UK Atomic Energy Authority, Warrington, GBR)
出典	D0201B (BJNTA)(0007-1137) Br J Non-Destr Test 発行年:1989
概要	<p>(1) 純粋の鉛を接合した PZT 型の浸漬式探触子を製作し、ナトリウム中で最高 280°C で使用できることを確認した。</p> <p>(2) ニオブ酸リチウム結晶とステンレス振動板を接合する技術を開発し、300 ~ 500°C の温度で感度が約 70 日間保持できることを確認した。</p> <p>(3) 銀圧着により P Z T 型のトランスデューサは、P Z T 型のキュリ一点 360°C 近くまで動作することが可能となり、ニオブ酸リチウムを用いたトランスデューサは約 550°C を 315 日間動作することが可能となった。</p>
備考	 <p>CAN BE USED WITH PZT OR LITHIUM NIOBATE MAXIMUM BOND OPERATING TEMPERATURE 550 deg C</p> <p>高温用センサの製作方法に関する文献であり、高温用マイクロホンの開発に有益である。</p>

表 3.4-2 超音波センサ (LiNbO_3) の耐熱・耐放射線に関する文献調査

77A0152071

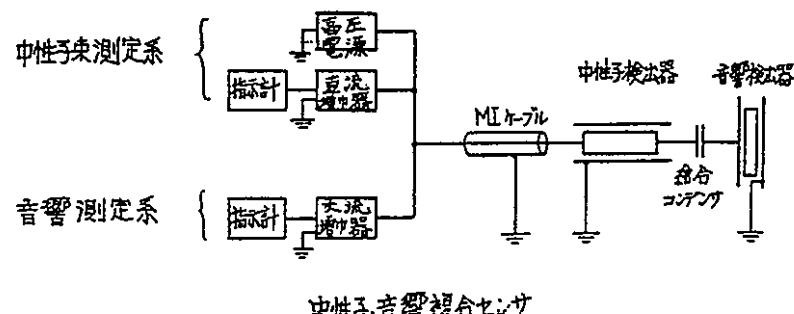
表題	中性子・音響複合センサの開発
報告者	田井一郎、野崎真一、白山新兵（東芝）
出典	G0939A 日本原子力学会年会要旨集 発行年:1977
概要	<p>LiNbO_3 を用いた音響検出器と核分離型電離箱を用いた中性子検出器をコンデンサ結合し、2つの信号を1本の信号線でとりだす事を特徴とした中性子・音響複合センサの開発について述べている。中性子検出器から出力される直流電流信号と、音響検出器からの交流信号を分離測定し、それぞれプラトー特性と音響感度特性を得た。</p>  <p style="text-align: center;"><u>中性子・音響複合センサ</u></p>
備考	炉内に設置する音響センサを開発するという点で参考になると考えられる。

表3.4-3 超音波センサ (LiNbO_3) の耐熱・耐放射線に関する文献調査

82A0207625

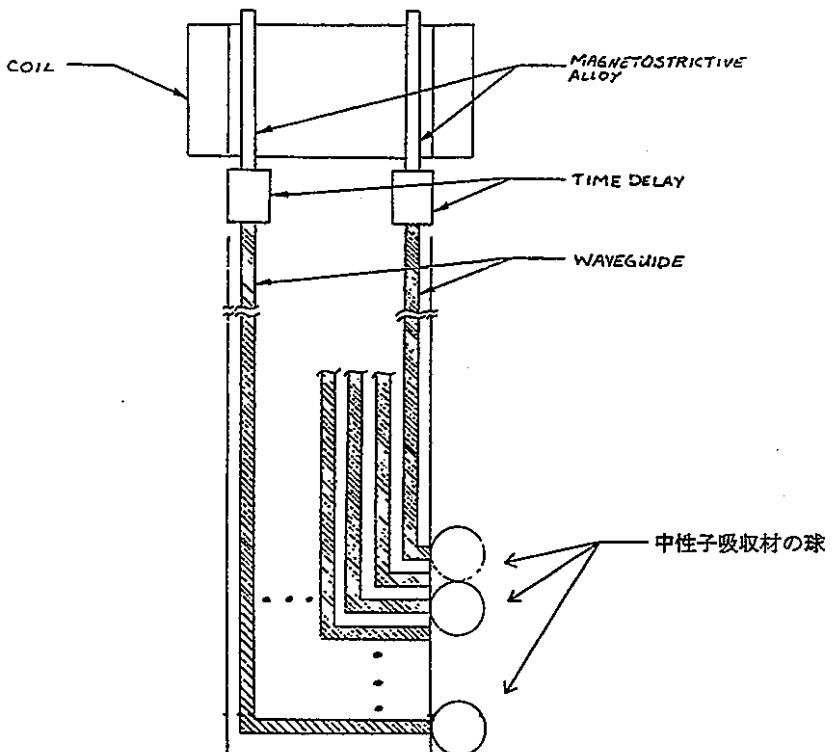
表題	LMFBR の炉停止装置に浮上式の吸収材の球を使用した場合の球の位置を決めるための試験報告。 Test report determining the location of hydraulically supported absorber balls in a shutdown assembly for LMFBR's.
報告者	PASCHALL R K, CHUNG D K(Rockwell International) 発行年:1978
出典	P0998A US DOE Rep
概要	LMFBR の炉停止装置に浮上式の中性子吸収の球を使用し、運転中はこの球を炉心上部にナトリウムの流れで浮き上がらせ、炉の停止時にこの球を炉心の中に落下させる。この方式に於いて、中性子吸収の球が浮き上がっているか落下しているかを確認するために、原子炉容器の外側に音響検出器を設置した検出装置の特性について述べられている。
	 <p>中性子吸収材位置検出装置概念図</p>
備考	炉外にセンサを設置し導波棒により超音波を炉内へ導く方法を採用しており、通常運転時に常に超音波にて炉内の監視(中性子吸収材の位置)を行うという点で参考になると考えられる。

表 3.4-4 超音波センサ (LiNbO_3) の耐熱・耐放射線に関する文献調査

77A0168921

表題	高速増殖炉フェニックスでのNa中透視器と音響検出器 Ultrasonic visualization in sodium system (VISUS) and acoustic detection in the fast reactor Phenix.
報告者	LIONS N, BARON J, BUIS H, BERGER R, BRET A
出典	P0998A US ERDA Rep 発行年:1973
概要	<p>フランスの高速増殖原型炉フェニックスでは、音波を用いる計装が2種類、炉本体に使われている。この文献では、この2種類の計装の構成とその特性試験結果等を紹介している。</p> <p>(1) アクティブと呼ばれており、超音波を使うナトリウム中透視器で燃料交換などの時に原子炉容器の中に入れて燃料の動き等を外部からみるもので、高温ナトリウム、高い中性子束・ガンマ線の中で動作する。</p> <p>(2) パッシブと呼ばれており、運転中の炉心での異常を音でサーベイするための音響検出器であり、センサは原子炉容器の外部につける。</p>
備考	(2)は、運転中の炉内の異常を音響センサでサーベイするという点で、本開発と類似しており参考になると考えられる。

4. 今後の開発にあたっての問題点

(1) 音響検出器の主要目

炉内沸騰音の検出を目的とした音響検出器の初期開発として、開発する音響検出器の主要目を以下に示す。

- 粒子団気 : 「常陽」原子炉容器内冷却材 Na 中
- 温度 : 275°C (目標 600°C)
- 放射線 : 中性子線 (10^{12} n/cm²·s) (定格運転中の概算値)
: γ線 (10^{12} γ/cm²·s) (定格運転中の概算値)
- 圧力 : 外圧 (1kg/cm²)
- 使用時間 : 200 時間 (目標: 10 万時間)
- 音源音圧 : 約 1000 Pa
- 周波数帯域 : 約 10 kHz ~ 約 100 kHz

(2) 音響検出器の開発計画にあたっての問題点

(1) 項に示した音響検出器を開発するにあたっての問題点を示す。

a. センサヘッド部の要素の問題点

従来、国内で開発された音響検出器(図4-1)は、計測する周波数帯域に比べて高い周波数の共振周波数を持つニオブ酸リチウムの単結晶(Zカット)を振動子として使用しており、本分解調査を実施した音響検出器もこの素子を使用している可能性が高い。

このため、出来るだけ感度を上げるために、従来品で使用していたZカットのニオブ酸リチウムの単結晶に代えて感度向上が期待できるY36カットのニオブ酸リチウムの単結晶を使用する必要がある。また、試供体の構造についても、本音響検出器の構造とするか、国内の従来の超音波検出器と同様なものとするか、検討する必要がある。

音響検出器を試作する際には、今年度の作業と同じ構成で音響特性を観察し、今年度調査対象の音響検出器と比較評価を行うとともに、耐熱性の評価として常温と高温の熱サイクル試験を行い、特性に変化が無いことを確認する必要がある。

b. 音響検出部の試作・試験の概要（案）

(a) 試作

「検出部の要素試作」の結果に基づき、以下に示す実機で使用するために必要な音響検出器の構成要素を設計・試作する。

① 音響検出器のセンサヘッド部

「検出部の要素試作」の結果に基づき、改良を行う。また、検出器のケーブルサポートやM I ケーブルとの取り合い構造も考慮し、設計・製作を行う。

② ケーブルサポート

「常陽」の炉上部との取り合い構造を考慮したケーブルサポート構造の設計を行う。

また、以上の設計を考慮して試作体用のケーブルサポートの設計・製作を行う。

センサヘッド部のケース材料であるチタンとの取り合い構造を検討し、シール機能の評価を行う。

③ M I ケーブル

実機で使用するものと同じ寸法のM I ケーブルを製作する。

④ コネクタ

音響検出器をシール構造とするために、シールコネクタを使用した構造設計を行い、ケーブルサポートに組み込む。

⑤ 計測システム

ノイズ特性の良好な前置増幅器、電源等の計測器の設計・製作を行う。

試作体は、評価のために2式製作し、両者間で送受信特性の評価が行える構成とすることを検討する。

(b) 試験

試作した音響検出器の性能評価を行うため水中試験を行う。水中試験は、今年度と同様の音響スピーカによる周波数特性評価の他に沸騰音模擬試験等の確認も行うことを見検討する。

また、275°Cのナトリウム中で試験を行い、高温ナトリウム中での音響性能を確認する必要がある。

c. 実機音響検出部の設計・製作の概要（案）

「音響検出部の試作・試験」の結果に基づき、高速実験炉「常陽」原子炉容器内の音響を測定するための音響検出器の設計・製作を行う。

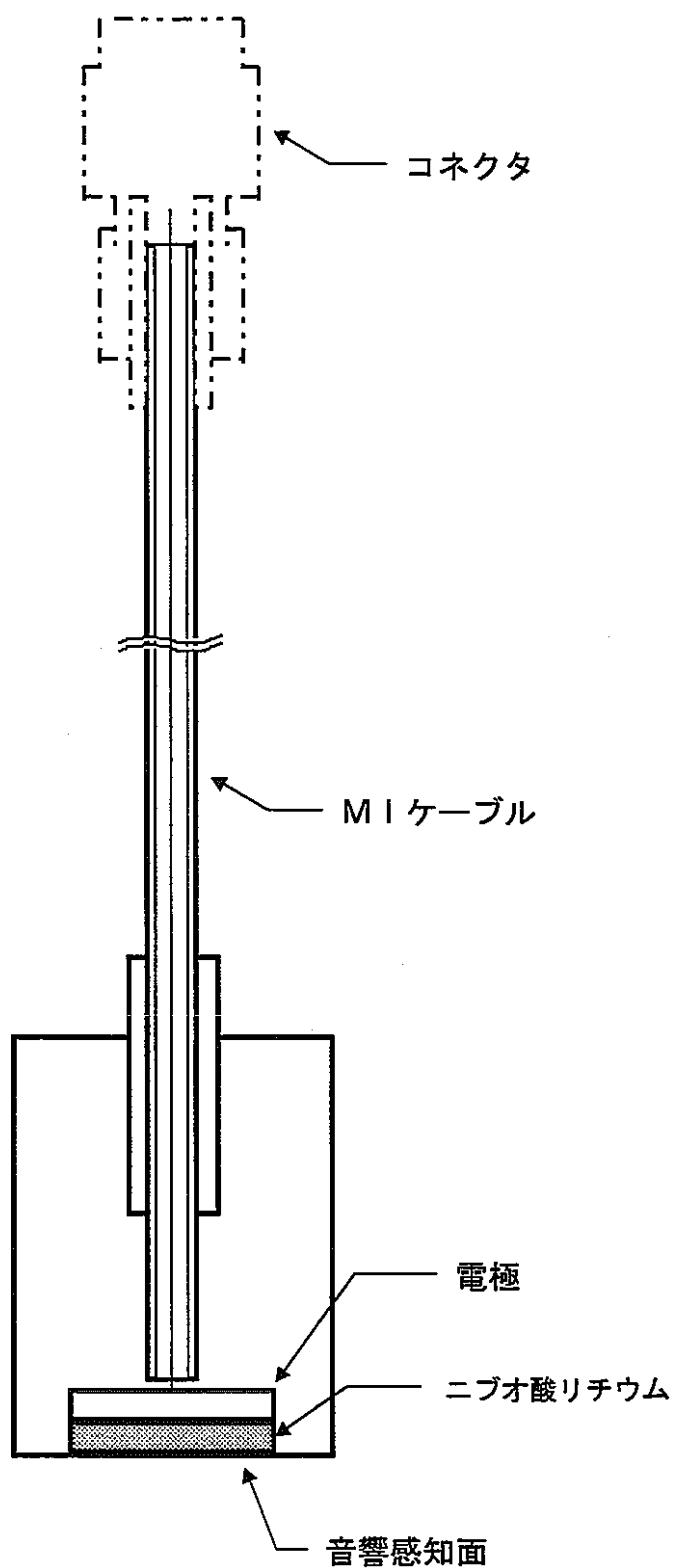


図4-1 国内で開発された音響検出器の構成

5. まとめ

高速炉の炉内で発生した異常を早期に検出することが可能な高感度の音響検出器の開発に資するために、既存の音響検出器を調査し以下を確認した。

- 既存の高温用音響検出器の周波数特性を水中で確認し、約10kHz～約200kHzの帯域において比較的良好な特性を有していることを確認した。
- 既存の高温用の音響検出器のセンサヘッド部及びケーブルサポート（MIケーブルを内蔵）の内部構造をX線撮影により観察した。この結果により、検出器の内部に収納されている音響検出用の素子やその支持構造及びケーブル貫通部の構造等を確認することができた。

以上の検討結果から、調査対象の音響検出器について感度、周波数帯域、指向性、耐熱性及び耐放射線性についての性能を推定し、これらの結果に基づき今後の開発を進めるにあたっての問題点等の検討を行った。

謝 辞

本検討にあたり、適切な御指導をいただいた実験炉部・技術課 市毛 聰氏、鈴木俊宏氏に感謝の意を表します。

以上