液中気泡検出素子の開発

高知工科大学 知能機械システム工学科 1010234 和田 浩一

指導教員 竹内 彰敏 助教授

目次

1	緒論		- 1 -
	1.1	研究背景	1 -
	1.2	研究目的	4 -
	1.3	論文構成	4 -
_	\ 		
2		気泡検出測定装置 	- 5 -
		圧電素子による気泡、固体微粒子の識別	
	2.2	定実験装置構成図	6 -
	2.3	寒験装置構成要素	7 -
		2.3.1 流量調整弁	7 -
		2.3.2 エアーコンプレッサー、攪拌機	8 -
		2.3.3 ディスクフィルター	9 -
		2.3.4 アンプ・フィルター	9 -
		2.3.5 周波数カウンター	9 -
		2.3.6 ネットワーク・アナライザー	9 -
3	測定	1	- 10 -
		発振周波数の調整	
	3.2	測定条件	10 -
	3.3	測定結果	11 -
	3.4	測定結果解析	14 -
		3.4.1 気泡、微粒子の感度評価	
	3	3.4.2 未混入域での発振周波数変化の評価	15 -
		解析結果	
	-	測定結果の考察	

4	測定	-	18 -
	4.1	測定条件	18 -
	4.2	測定結果	19 -
	4	4.2.1 流速 2m/sec 測定結果	20 -
	4	4.2.2 流速 3m/sec 測定結果	21 -
	4	4.2.3 流速 4m/sec 測定結果	22 -
	4.3	測定結果の解析	23 -
	4	4.3.1 混入気泡濃度と流速変化についての解析 2	23 -
	4	4.3.2 混入気泡状態の考察	25 -
5	結論	-	28 -
	5.5 2	本研究の結論	28 -
	5.6	今後の課題 :	28 -
	A 有	研究発表前刷り原稿	33 -
	B C	CONTEC 製 ACX-PAC[W32]の改良	
		データ取得、保存プログラム	35 -
	C N	MicroCap-V CQ 版によるアンプ・フィルター回路の解析	50 -

第1章

緒言

1.1 研究背景

機械は、運転時間と共に様々な負荷的要因を受け、性能低下または、故障へと至ってしまう。そのため、機械のライフサイクルを通してその機械を正常に機能させるための維持補修、すなわちメンテナンスが必要となる。

社会の成熟とともに、生産労働人口の減少は機械設備を増加させ、それが巨大化するとともに機械の故障が安全性、経済性に及ぼす影響は膨大なものとなるので、メンテナンスの信頼性・経済性を高める技術の開発が必要である。

図 1.2 は、製造業での設備診断の対象部位を示したもので軸受けが約 50%もの割合を占めていることが分かる。軸受の損傷形態を図 1.2 に示し、摩耗過大が 20%の割合を占めており、これは潤滑油の管理によって減少できるといえる。

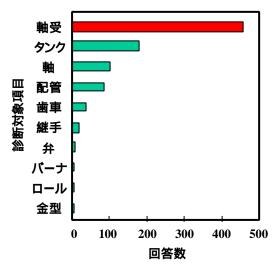


図1.1 製造業の事業所における設備 診断対象部位

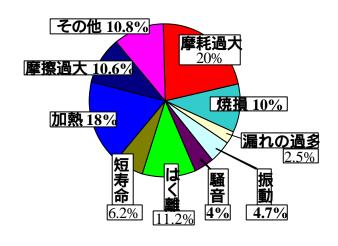


図1.2 軸受けの損傷形態

潤滑油中の摩耗粉は、機械のしゅう動面の損傷を進行させ摩耗過大や焼損の原因となる。その為、摩耗粉の大きさや濃度等を調べることによって潤滑状態の診断ができ、損傷を未然に防ぐことが可能である。現在主に使用されている潤滑油診断法を表 1.1 に示す。

表 1.1 現在の主な潤滑油診断法

診が到	診断方法	特徵
フェログラフィー法 定量フェログラフィー法 分析フェログラフィー法	摩珠が子を大小2つの対3節囲に分けて粒子量の変化から評価 摩珠が子の形態と量を顕微鏡で観察	・機械の潤骨異常予知 ・生体関節などの医学分野 ・現在、一般産業界でも幅広 く使用されている
SOAP法	・摩珠の元素成分、元素濃度から診断する。	・各金属元素の量からどの部分 が損傷しているか予測できる ・大量の分析、短時間の分析 に有効
污染度分析法 計数法 重量法	摩郡子の個数を悩みごとに測定NAS規格に基づき等級で評価 摩郡子をフォレターで捕捉しその重量(ng/100ml)をNAS等級で評価	・粒度分布が分からない・結果は詳細に依存し精度が低い。

表 1.1 で示した診断法はいずれもオフライン手法で、油のサンプリングが必要であり、診断は熟練者の解析によって行われ長時間を要す。その為、比較的短時間で進行する軸受損傷には対応できていないのが現状の問題とされている。

その為、現在図 1.3 で示すようなオンラインで常に潤滑油中の摩耗粉の大きさ、 個数をカウントする粒子計測装置が開発されている。

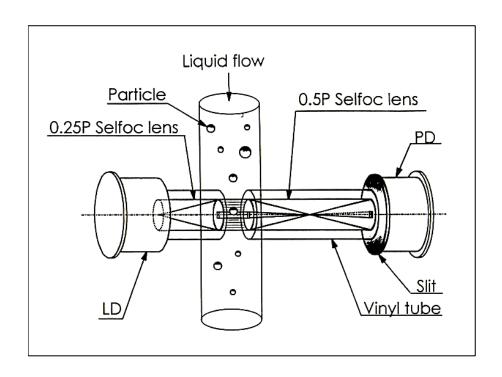


図1.3 オンライン粒子計測装置

図 1.3 で示したオンライン粒子計測装置は、半導体レーザーを用いたもので、 レーザーディテクター(LD)から発光された平行光をフォトデイテクター(PD)でと らえ、摩耗粉が光線をさえぎることでその大きさ、個数をフォトディテクターで 測定する。

しかし、摩耗粉以外にも微小な気泡の影響によって測定誤差が生じる問題がある。そのため CCD カメラでの画像分析により気泡、摩耗粉を識別しているが CCD カメラでの画像分析には時間を要することや、コストの面からみても実機への適応は難しい。

そこで本研究では、粒子計測装置の精度向上を目的として現在、硬い、軟らかいを測定する触覚センサーなど幅広く用いられている圧電効果を利用した圧電素子を用いて液中気泡検出素子の開発を行い、その可能性につき検討した。

1.2 研究目的

気泡検出測定装置の製作

気泡・微粒子の混入量や流速などの測定条件が変更可能な潤滑装置の製作を行い、気泡検出素子によるオンラインでの液中気泡計測システムを製作する。

液中気泡の検出

気泡、微粒子の混入により、液中気泡検出素子の基礎特性を調べ気泡のみに 感度よく反応する発振周波数での,気泡の混入量、素子通過流速などの測定条件 の変更に対してどのような影響があるか実験を行う。

1.3 論文構成

本論文は、全 5 章から構成される。第 2 章では、実験装置の構成、構成機器の仕様について述べる。第 3 章は、検出素子の基礎特性の実験を行い、混入物に対する感度を解析することにより検出素子の基礎特性の評価を行う。第 4 章では、素子の基礎特性から気泡のみに良く反応する発振周波数での測定を行い解析結果を示す。第 5 章では、本研究の総括、今後の課題について述べる。

第2章

液中気泡検出測定装置

この章では、液中の気泡または微粒子を検出し識別する仕組みについてまず解説を行う。続いて装置全体の構成を述べ、それぞれの構成要素の仕様を示す。

2.1 圧電素子による気泡、固体微粒子の識別

図 2.1 に検出素子部概略図を示す。開発中の気泡検出素子は、発振素子、受信素子、アンプ、フィルターから成る閉回路の発振周波数が、液中の気泡、固体 微粒子の音響インピーダンスによって変化することを利用した素子である。

音響インピーダンスとは、次の式で定義されており本実験で使用する物質 の音響インピーダンスを表 2.1 に示す。

音響インピーダンス Z = x C

: 密度 C: 媒質中を伝搬する音速

表 2.1 で示すように気体より液体、液体より固体と音響インピーダンスが大きくなり音波の伝搬速度も速くなる。

本研究では、検出素子により液体(水)の音響インピーダンスをベースとし、 そこに液体より音響インピーダンスの小さい気体(気泡)や液体より音響インピーダンスが大きい固体(微粒子)が混入することで検出を行うシステムである。

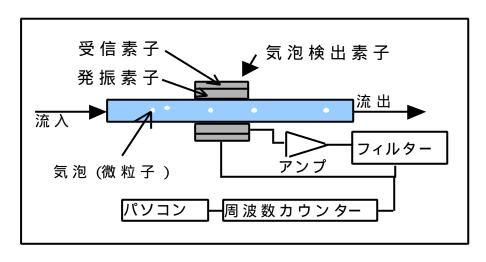


図 2.1 検 出 素 子 部 概 略 図

表 2.1 音響インピーダンス 10⁶kg/m²s

水	油	空気	セラミック微粒子
1.5	1.3	4×10^{-4}	27.6

2.2 実験装置構成図

図 2.2 に実験装置全体の概略図を示す。実験装置は、ポンプ、流量調整弁、 気泡検出素子、ディスクフィルター、タンクで構成されている。ポンプで潤滑 液を循環させ、流量調整弁で流速を調整し気泡、微粒子を検出素子直前の L 字 パイプより混入し検出素子通過時の発振周波数変化を測定する。

気泡は、エアーコンプレッサで直接噴出し、微粒子は、攪拌機で攪拌し圧送により混入した。混入した微粒子は、検出素子通過後ディスクフィルターによって除去する。

実験で使用した潤滑液は、表 2.1 で示したように油と音響インピーダンスの差が少なく扱い易いことから水を使用した。なお、循環回路内での気泡の発生を少なくさせるため,一度沸騰させ常温に戻した水を使用した。

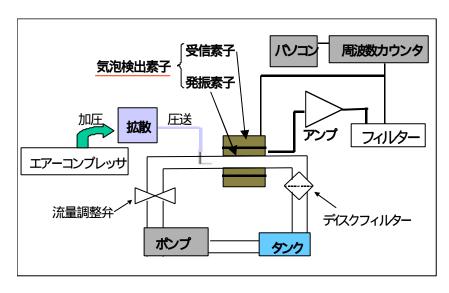


図2.2 実験装置全体概略図

2.3 実験装置構成要素

2.3.1 流量調整弁

流量調整弁のダイヤルを回すことによって流速を調整する。 ダイヤル目盛りと検出素子通過流速の関係を図 2.3 に示す。

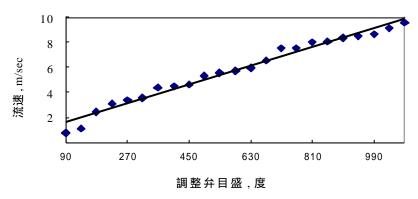


図2.3 調整弁目盛と流速の関係図

2.3.2 エアーコンプレッサ - 、攪拌機

エアーコンプレッサーと攪拌機は、図 2.4 に示すような一体型であるポリシステム製 PL-3 を用いた。

攪拌機により試薬瓶内の攪拌子を回転させ微粒子を拡散させ,エアーコンプレッサーの加圧によって微粒子を圧送した。また、気泡の場合は、エアーコンプレッサーから水回路内に直接混入した。

本実験では、エアーコンプレッサーの噴出時間を 0.25s, 0.5s, 1.0s, 1.5sの 4種類設定し測定を行った。エアーコンプレッサーの噴出時間に対する気泡の噴出量を測定し, その関係を図 2.5 に示す。図 2.5 において点線の直線は、噴出時間に対して気泡噴出量が比例している場合を示しており、それに比べ PL-3 の場合は、噴射時間 0.5s から 1.5s にかけて急激に気泡噴出量が増加する特性である。

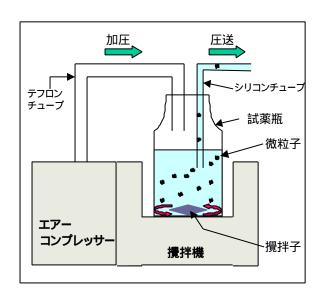


図2.4 PL-3 略図

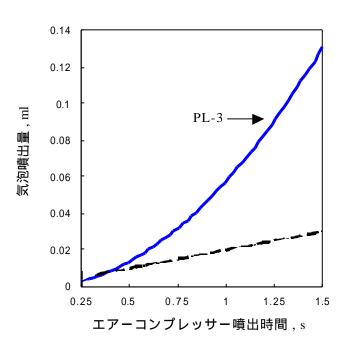


図2.5 噴出時間と気泡噴出量の関係

2.3.3 ディスクフィルター

ディスクフィルターは、サンホープ製の AR-301 を用いた。

混入された微粒子は、ポンプに悪影響を与える可能性があるためと、タンク、 ポンプを経て再び測定対象にならないため、測定後ディスクフィルターで取り除 く。

2.3.4 アンプ・フィルター

発振回路は、発振素子、受信素子、アンプ、フィルターの閉回路でありアンプ・フィルターの調整を行う事で基準発振周波数が決まる。

2.3.5 周波数カウンター

周波数カウンターは、ADVANTEST 製の TR5822 を用いた。

発振回路から出力された信号を、周波数カウンターで表示しまた、GP-IB を通じてパソコンに出力し、周波数変化を記録する。

2.3.6 ネットワーク・アナライザー

ネットワーク・アナライザーは、ADVANTEST 製の R3753AH を用いた。 アンプ・フィルター回路のバンドパス・フィルターの調整を行う際に使用した。

バンドパスフィルター:ある特定の周波数帯域の信号のみを通過させ、低周 波ならびに高周波の信号を遮断するフィルタ

第3章

測定1(予備実験)

この章では、発振周波数の違いによる気泡・微粒子の検出感度、未混入域での 発振周波数変化の特性を測定した結果を示す。また、測定データを解析し気泡検 出に有効な発振周波数を考察した。

3.1 発振周波数の調整

基準発振周波数の選択は、アンプ、フィルターを調整することにより行う。アンプ、フィルターの調整には、ネットワーク・アナライザーを用い,回路中のバンドパスフィルターにより基準発振周波数が決まる。

3.2 測定条件

実験は、表 3.1 の条件で行った。ポンプで水を循環させ,発振周波数変化が安定した時点、つまり循環液中に気泡がなくなったと判断できる時点で測定を開始した。なお、本実験は予備実験であるため、測定対象物である気泡、微粒子は注射器(1cc)により L 字パイプより検出素子直前に混入し、発振周波数変化を測定した。

表 3.1: 測定条件

流速	2 m/sec
潤滑液	水
微粒子	セラミック微粒子
	30 µm 5g/l
サンプリング周期	0.1 sec
測定周波数範囲	150 ~ 350 kHz

測定1測定結果 3.3

表 3.1 に示した測定条件に従って、実験を行い発振周波数変化が得られた 12 点の結果を図 3.1~3.12 に示す。なお、気泡混入時と微粒子混入時のそれぞれの グラフを同一グラフ上で示した。

161.95

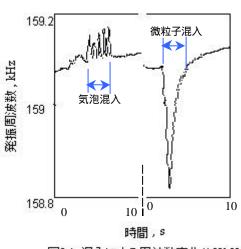
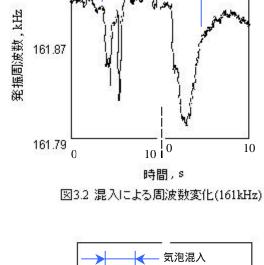


図3.1 混入による周波数変化(159kHz)



気泡混入

微粒子混入

10

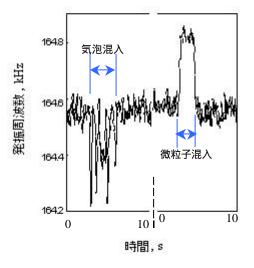


図3.3 混入による周波数変化(164kHz)

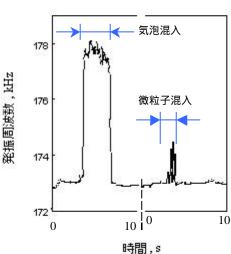


図3.4 混入による周波数変化(173kHz)

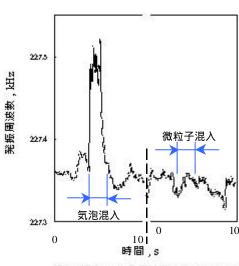


図3.5 混入による周波数変化(227kHz)

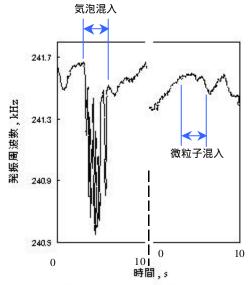


図3.6 混入による周波数変化(241kHz)

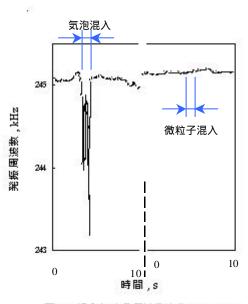


図3.7 混入による周波数変化(245kHz)

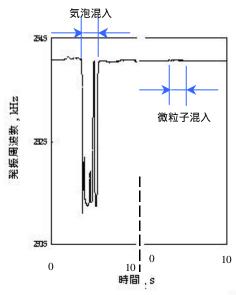


図3.8 混入による周波数変化(254Khz)

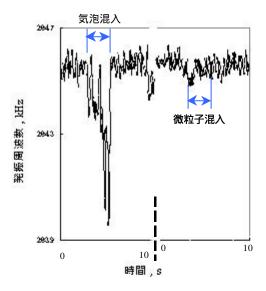


図3.9 温入による周波数変化(264kHz)

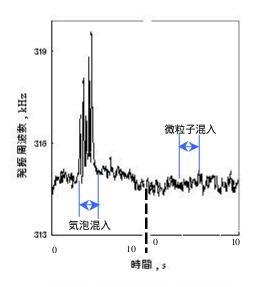


図3.10 混入による周波数変化(313kHz)

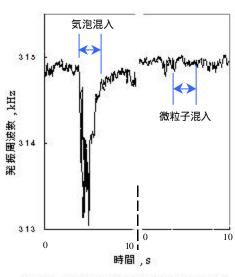


図3.11 温入による周波数変化(315kHz)

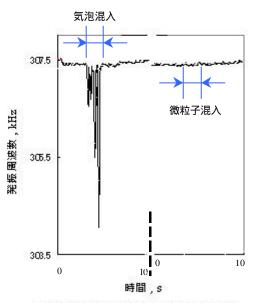


図3.12 混入による周波数変化(307kHz)

3.4 測定結果の解析

測定結果の解析を行い気泡、微粒子に対する感度、また未混入時の発振周波数 変化についての評価を行う。解析方法及び評価方法を示す。

3.4.1 気泡、微粒子の感度評価

それぞれの対象物の感度は、図 3.13 に示すようにその混入域での最大周波数変化(MAX)をもとに求め,混入域における最大周波数変化と未混入域における周波数の平均値との差をとり,対象物によってどれだけの周波数変化が得られたかにより定義した。なお、混入域による発振周波数の低下はマイナスで示し、発振周波数の増加はプラスで示した。

<u>感度 = MAX - {(未混入域 A の平均) + (未混入域 B の平均)}/2</u>

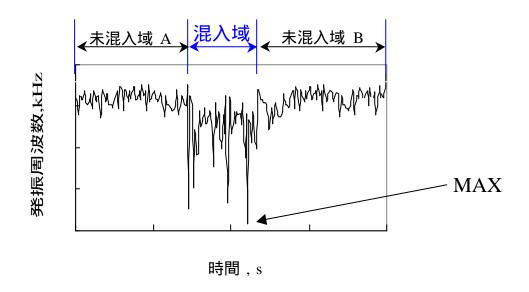


図3.13 感度解析の図解

3.4.2 未混入域での発振周波数変化の評価

図 3.14 で示すように対象物未混入時での発振周波数の変化を評価した。 図 3.14 で表した R、S は、

R:最小二乗直線からの最大周波数変化値

S:R点と同時間の最小二乗直線の値

を示しており、未混入域での発振周波数変化の評価は、

未混入域での発振周波数変化 = R - S

とした。

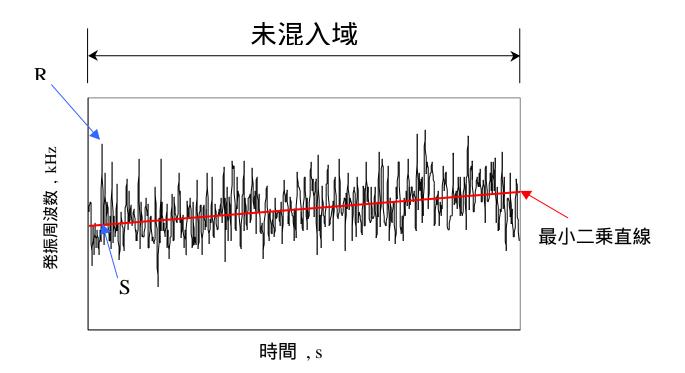


図3.14 未混入域での解析の図解

3.5 解析結果

3.4 で示した解析方法をもとに測定結果の解析を行ったものを図 3.15 に示す。 気泡感度、微粒子感度、未混入域での発振周波数変化の 3 項目を各測定周波数ごとに同一グラフ上で表した。

また、感度については、対象物混入時において発振周波数が増加した場合の反応をプラス、逆に発振周波数が低下した場合の反応についてはマイナスで表示した。

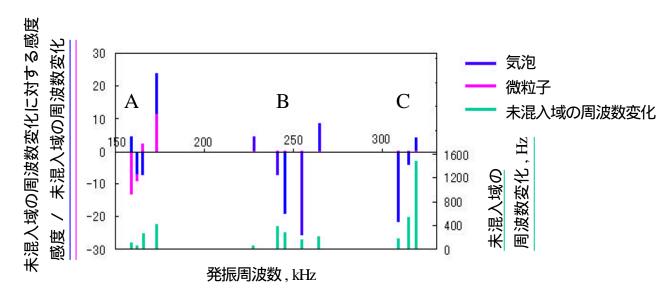


図3.15 測定1総合評価

3.6 測定結果の考察

・図 3.15 より反応が得られた発振周波数は、大きく分けて 3 つのグループに分ける事ができる。

グループ A: 162kHz を中心とする 4 つの測定結果 グループ B: 245kHz を中心とする 5 つの測定結果 グループ C: 312kHz を中心とする 3 つの測定結果

この3つのグループで反応が得られ、他の発振周波数では反応が得られなかったのは、検出素子の周波数特性に関係があると考えられる。

- ・グループ A では、気泡、微粒子共に反応が得られたがグループ B、C では 気泡のみに反応があり、微粒子に対してはノイズ程度の反応しか得られなか った。
- ・気泡に反応がなく微粒子のみに反応する周波数域はなかった。
- ・気泡と微粒子の識別では、図 3.3 で示した 164kHz での測定結果から,気泡では発振周波数は低下し、逆に微粒子に対しての発振周波数は増加し識別が可能であるが、気泡、微粒子双方が混入した場合その比率を特定するのは難しいと考えられ、市販の粒子計測装置の精度向上のためには気泡のみに感度良く反応するグループ B、C での測定が有効であると考えられる。

第4章

測定 2 (241kHz での気泡測定)

この章では、測定 1 の結論より気泡のみに感度よく反応するグループ B、C の発振周波数において調整を行った。調整の結果、気泡に対して感度の良い 241kHz において測定を行いその結果を示す。また、対象物混入時間を一定割合で増し、混入量に対する解析を行いその結果を考察する。

4.1 測定条件

測定は、表 4.1 で示した条件により実験した。ポンプで水を循環させ循環液中に気泡がなくなったと推測できる時点で測定を開始した。気泡は、エアーコンプレッサーにより定量的に混入し、微粒子は、攪拌機で攪拌し圧送により L 字パイプより検出素子直前に混入し、発振周波数変化を測定した。

表 4.1: 測定条件

流速	2m/sec , 3m/sec , 4 m/sec
潤滑液	水
微粒子	セラミック微粒子 30 μ m 0.32g/l (NAS12 級) 0.09g/l (NAS10 級)
対象物混入時間	0.25sec , 0.5sec , 1.0sec , 1.5sec
サンプリング周期	0.1 sec
発振周波数	241.40 kHz
水温	41 度

4.2 測定2 測定結果

表 4.1 の測定条件に従って、実験を行った結果を示す。 検出素子通過流速を基準に、気泡、セラミック微粒子(NAS10,NAS12)の 3 種類の発振周波数変化を同一グラフ上に示した。

4.2.1

検出素子通過流速 2m/sec における対象物混入量の影響を示した。

図 4.1 : 噴出時間 0.25sec

図 4.2 : 噴出時間 0.5sec

図 4.3 : 噴出時間 1.0sec

図 4.4 : 噴出時間 1.5sec

4.2.2

検出素子通過流速 3m/sec における対象物混入量の影響を示した。

図 4.5:噴出時間 0.25sec

図 4.6: 噴出時間 0.5sec

図 4.7:噴出時間 1.0sec

図 4.8: 噴出時間 1.5sec

4.2.3

検出素子通過流速 4m/sec における対象物混入量の影響を示した。

図 4.9 : 噴出時間 0.25sec

図 4.10: 噴出時間 0.5sec

図 4.11:噴出時間 1.0sec

図 4.12:噴出時間 1.5sec

4.2.1 の結果

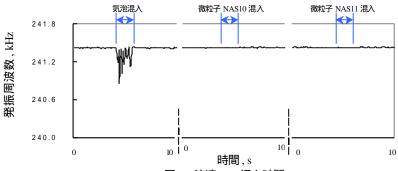


図4.1 流速2m/s 混入時間0.25s

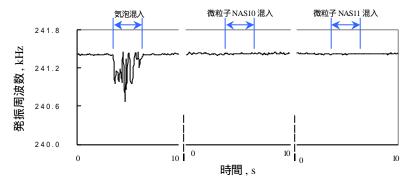


図4.2 流速2m/s 混入時間0.5s

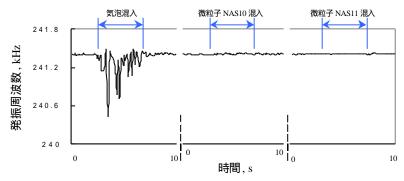


図4.3 流速2m/s 混入時間1.0s

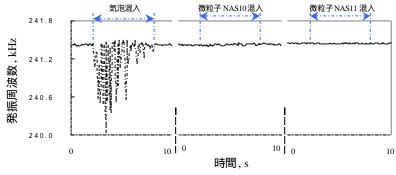


図4.4 流速2m/s 混入時間1.5s

4.2.2 の結果

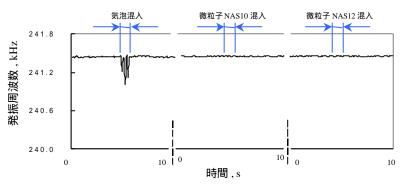


図4.5 流速 3m/s 混入時間 0.25s

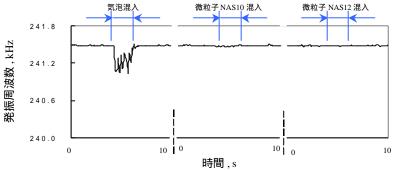


図4.6 流速 3m/s 混入時間 0.5s

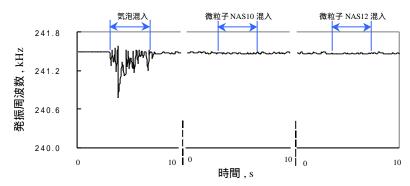


図4.7 流速 3m/s 混入時間 1.0s

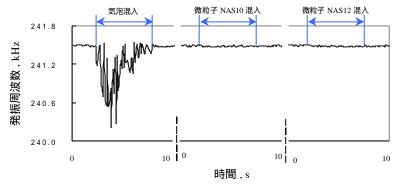


図4.8 流速 3m/s 混入時間 1.5s 21

4.2.3 の結果

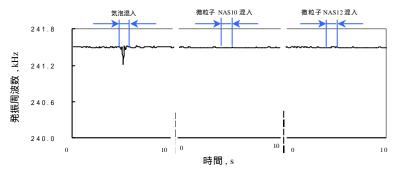


図4.9 流速 4m/s 混入時間 0.25s

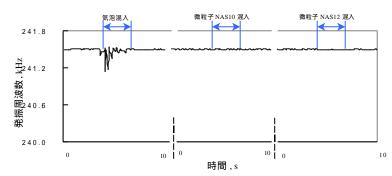


図4.10 流速 4m/s 混入時間 0.5s

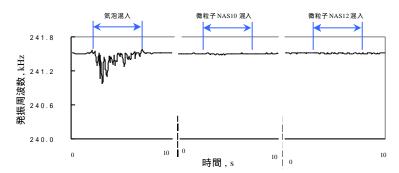


図4.11 流速 4m/s 混入時間 1.0s

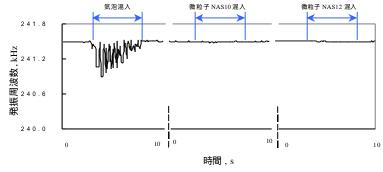


図4.12 流速 4m/s 混入時間 1.5s

4.3 測定結果の解析

図 4.1~図 4.12 で示したように微粒子に対してはノイズ程度でほとんど反応がなく、気泡に対しては噴出時間に依存した発振周波数の変化が認められた。 ここでは,気泡噴出時間と流速変化に対しての解析を行う。

4.3.1 気泡噴出時間と流速の関係についての解析

各流速での気泡噴出時間の変化による発振周波数変化の影響を解析する。 流速 2m/sec, 3m/sec,4m/sec における各気泡噴出時間での発振周波数変化を 図 4.13~図 4.15 に示す。

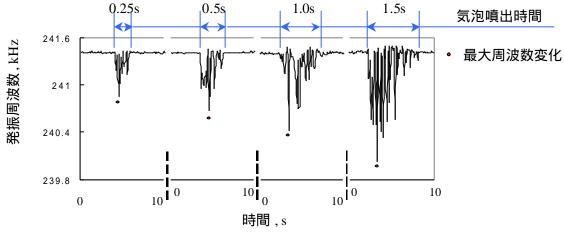


図4.13 気泡噴出時間に対する発振周波数変化 (流速 2 m/s)

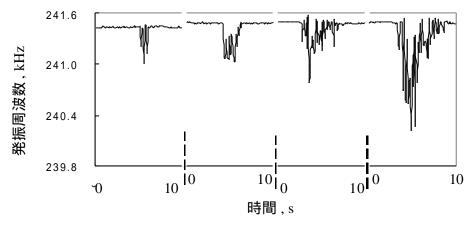


図4.14 気泡噴出時間に対する発振周波数変化 (流速 3 m/s)

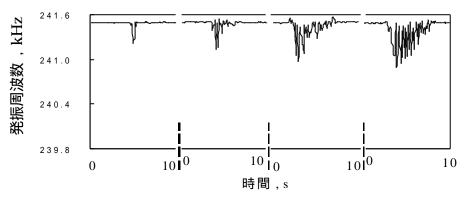


図4.15 気泡噴出時間に対する発振周波数変化 (流速 4 m/s)

図 4.13~図 4.15 のそれぞれの流速においても最大周波数変化、気泡検出時間 共に気泡噴出時間に依存した周波数変化が得られた。また、流速一定の条件で 4 回の実験を行いその測定データ 4 回の平均をとり各混入域での平均周波数変化 と最大周波数変化を示したものを図 4.16 に示す。

なお,最大周波数変化は、その混入域での最大の周波数変化で、その混入域での瞬間での気泡の率つまり含有率に関係あると推測でき、また、平均変化はその混入域での周波数変化の平均であり、気泡の総量に関係があると推測できる。

流速一定条件での 4 回の測定結果の平均である図 4.16 からみても噴出時間の増加とともに最大周波数変化、平均周波数変化ともに増加していることがいえる。つまり、気泡噴出時間の増加すなわち気泡噴出量の増加に伴い気泡の含有率、総量も共に増加していると推測される。

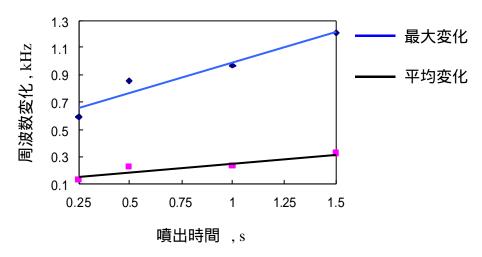


図4.16 気泡噴出時間に対する周波数変化

4.3.2 混入気泡状態の考察

測定結果をもとに検出素子通過時の気泡の状態を考察した。本測定での気泡 混入時における発振周波数変化の特徴として図 4.17 に示すように周波数変化が 断続的であることが言える。この特徴から混入された気泡は、検出素子を断続的 に通過したと推測される。

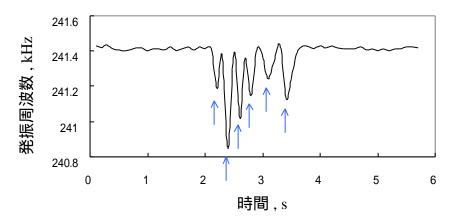


図4.17 本測定での気泡混入による周波数変化の特徴

また、予備実験として流速、サンプリング周期同条件で図 4.18 で示すようにポンプ手前から気泡を混入しポンプによって気泡を拡散させる測定を行った。ポンプで拡散された気泡は目で確認することができないことから、一般的に目視が可能な 5 0 μm より小さな気泡と推測される。拡散された気泡が検出素子を通過した時の発振周波数変化を図 4.19 に示す。

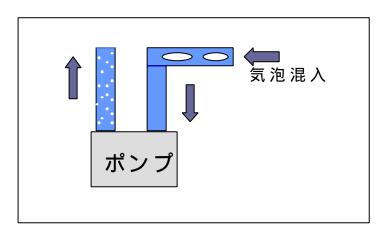


図4.18 ポンプによる気泡拡散図

図 4.19 に示すようにポンプにより拡散された気泡の検出素子通過時の発振周波数変化は、本実験でおこなったエアーコンプレッサによる気泡混入時の発振周波数変化と異なり,連続的な周波数の変化が得られた。つまり、ポンプの撹拌によって $50\,\mu$ m 以下に分散された気泡は、図 4.20 で示すイメージ図のように連続的な群をなして検出素子を通過したと推測される。

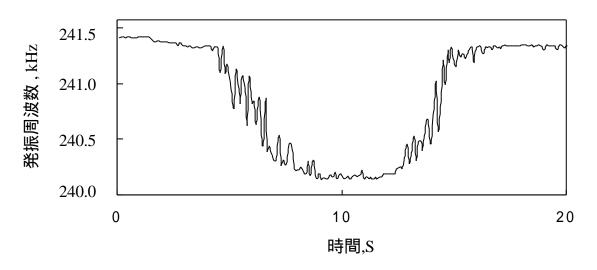


図4.19 ポンプで拡散された気泡の周波数変化

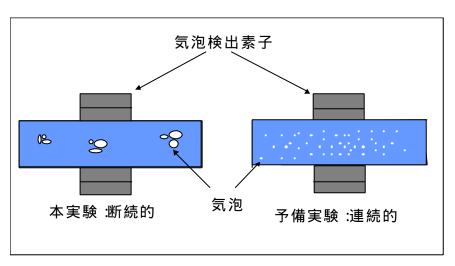


図4.20 気泡通過イメージ図

第5章

結論

5.1 本研究の結論

本研究の成果をまとめる。

気泡検出測定装置の製作

流速、気混噴出時間、微粒子圧送時間が変更可能な測定装置を製作したことにより、今後の検出素子開発にあたり数多くの検出素子特性を測定することが可能である。

気泡検出素子の基礎特性の確認

液中の異物の存在により発振周波数が変化する検出素子の基礎特性が把握でき、 また気泡に関しては,気泡の総量と含有率は、エアーコンプレッサーの噴出時間 に依存していることから測定可能だと推測される。

また、目視が不可能な 50 µm 以下の気泡に対しても検出可能であるといえる。

粒子計測装置への適応の可能性

液中の気泡の大きさや個数の識別を可能にすることにより,オンラインで用いられる粒子計測装置の気泡検出素子に適用できるため,より精度の高い潤滑油状態の診断が可能になるものと期待される.

5.2 今後の課題

今後の課題をまとめる。

サンプリング周期の向上

今回の実験では、サンプリング周期 0.1sec で行ったが流速に対してサンプリング周期が遅いため、混入域に対して断片的なサンプリングしかできなかったが、サンプリング周期の向上により連続的な測定が可能であり気泡の大きさ、個数を検出できる可能性があると推測される。現在、周波数変化を電圧変化に変換する F/V コンバーターと CONTEC 製の AD12-16PCIE ボードを用いたシステムの調整中であり、本システム確立により測定は可能であると予想される。(付録 B)

混入気泡の定量化

今回の実験では,混入気泡の個数や大きさを特定することができなかったが, たとえば,市販の粒子計測装置により気泡混入実験を行い,気泡径や個数を計測 できれば,開発した気泡検出素子の定量的な特性の把握が可能となり,流体中の 気泡と微粒子の識別システムに,実際に適用可能になるものと考える.

参考文献

[1] 高橋 良樹:潤滑技術 日本プラントメンテナンス協会(1991)

[2]:秋月 影雄:設備診断技術入門 日本プラントメンテナンス協会(1994)

[3] 以内 昭夫:わかりやすい潤滑技術 日本プラントメンテナンス協会 (1995)

[4] 一宮 亮一:機械系の音響工学 コロナ社(1992)

[5] 藤吉 敏生:超音波技術便覧 日刊工業新聞社(1991)

[6] 日本機械学会論文集 C 編 第 618 号 第 64 巻 66 論文 No.97-0877 P662 -668

付録A

研究発表用 前刷り原稿

液中気泡検出素子の開発

和田 浩一 1010234

1. 緒言

機械の劣化や故障を未然に防ぐ為に潤滑油の管理が重要で あり、またこのようなメンテナンスにかかる費用は年々増加 している。潤滑油中の摩耗粉は、機械のしゅう動面の損傷を 進行させるため、その大きさや濃度等を調べる事によって潤 滑状態の診断精度が向上でき、損傷を未然に防ぐことが可能 になる。

しかし、現在の主な摩耗粉の診断法であるフェログラフイ ーなどのオフラインの観測では、継続的な潤滑状態のモニタ リングができず、比較的短時間で進行する軸受損傷に対応で きないその為、オンラインで潤滑油中の摩耗粉の量や大きさ をカウントする粒子計測装置が開発されているが、摩耗粉以 外の気泡などの存在によって測定誤差を生じる問題がある。

そこで、本研究では、粒子計測装置の検出精度の向上を目 的として、圧電素子を用いた液中気泡検出素子の開発を行っ ており、ここではその可能性について述べる。

2. 実験装置ならびに実験方法

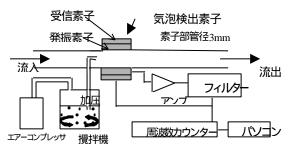


図 1 実験装置概略図

実験装置の概略を図1に示す。開発中の気泡検出素子は、 発振素子、受信素子、アンプ、フィルターから成る閉回路の 発振周波数が、液中の気泡(周波数によっては微粒子)の存 在により変化することを利用した素子である。

一般的に表 1 で示すように、水より音響インピーダンが低 い気泡では周波数は低下し、水より音響インピーダンスの高 いセラミック微粒子では周波数は増加する。

実験では、油と音響インピーダンスの差が少なく、また、 扱い易いことから水を用い、気泡はエアーコンプレッサから 流路に直接混入し、セラミック微粒子[30 µ m,0.32g/l(NAS12 級)は攪拌機内の水と共に圧送して検出素子直前に混入した。 また、検出素子部の流速を 2m/s、 3m/s、 4m/s に設定して実 験を行った。

表 1 音響インピーダンス

 $10^6 \text{kg/m}^2 \text{s}$

水	油	空気	セラミック粒子
1.5	1.3	4×10 ⁻⁴	27.6

3.実験結果及び考察

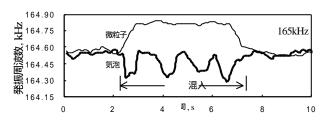


図2 微粒子・気泡混入時の周波数変化(165kHz)

図2に164kHzでの予備実験での結果を示す。この周波数で は、気泡と微粒子を周波数の増減で識別したが、双方が混在す る場合、その比率を特定する事は難しい。一方、図3に示す240 kHz での発振周波数は気泡のみに反応し、微粒子においてはノ イズレベルである事が分かる。従って市販の粒子計測装置の精 度向上の為には、精度良く気泡混入の検知が可能な 240kHzで の測定が有効となる。

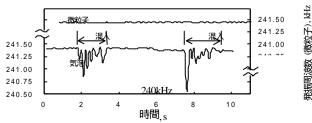
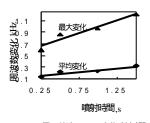


図3 微粒子・気泡混入時の周波数変化(240kHz)

2



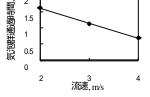


図4 流速_{2m/s}での気泡噴射時間 に対する周波数変化 (240kHz)

図 $_5$ 噴射時間 $_{0.25s}$ での流速変化 に対する気泡群通過時間 640kHz)

次に、240kHzでの気泡濃度と流速変化についての基礎実 験を行った。図4は各噴射時間での測定データ4回の平均を 示したもので、平均変化は図3で示すような気泡混入時にお ける周波数変化の平均値を、また最大変化は周波数変化の最 大値を示す。共に噴射時間に比例しており、平均変化は気泡 の総量に、最大変化は混入域での瞬間での気泡の含有率に関 係する量であると推測される。図5では、流速変化と通過時 間が反比例の関係にあり検出素子内の気泡通過速度が変化し ても検知が可能なことがわかる。

4. 結言

気泡の存在により発振周波数が変化する検出素子の基礎特 性を調べ、気泡の検出が十分に可能であることが確認できた。

参考文献

潤滑技術 日本プラントメンテナンス協会 14 58 210 218

付録 B

CONTEC 製 ACX-PAC[W32]の改良 データ取得、保存プログラム

·_____

Option Explicit

Dim DataTable(300, 3) As Single

Dim Databox(60, 3) As Single

Dim a As Single

Dim b As Single

Dim c As Single

Dim j As Integer

Dim m As Integer

Dim n As Integer

Dim p As Integer

Dim vv As Integer

Dim Q As Integer

Dim REV As Integer

Dim ave1 As Single

Dim ave 2 As Single

Dim ave 3 As Single

Dim Ret As Integer '停止

Dim i As Integer

Const MAX_GRP_X = 100 グラフの X 軸の幅(点数)

Dim GrpXPos As Long 'X 軸の現在位置を保存

Dim Buffer(3) As Single 'データ保存用

Dim LastVoltRange As Integer '16 進表示を戻すときのレンジを保存

·------

'タイマイベント

' A/D 変換をします

Private Sub AcxAio1_Timer()

lblData.Caption = "" '表示を消去します。 avedata.Caption = "" '表示を消去します。

Ret = AcxAio1.AcquireData(Buffer) 'データ取得

If REV = 1 Then

Ret = 1

'Ret=1 で停止

End If

If Ret = 0 Then

'_____

Y軸レンジの設定

AcxXY1.YMaximumRange = 10

AcxXY1.YMinimumRange = -10

AcxXY2.YMaximumRange = 10

AcxXY2.YMinimumRange = -10

AcxXY1.DisplayDataY GrpXPos, Buffer(), AcxAio1.ChannelNumber 'グラフ表示

n = n + 1

a = a + Buffer(0)

b = b + Buffer(1)

c = c + Buffer(2)

AcxXY2.DisplayDataY GrpXPos, ave1, AcxAio1._ ChannelNumber 'グラフ表示 2

 $AcxXY2.DisplayDataY\ GrpXPos,\ ave2,\ 2$ 'グラフ表示 2 $AcxXY2.DisplayDataY\ GrpXPos,\ ave3,\ 3$ 'グラフ表示 2 a=0 b=0 c=0

If vv = 1 Then

'vv=1 で記録開始

If
$$m \le 300$$
 Then $m = m + 1$ DataTable $(m, 1) = Buffer(0)$ DataTable $(m, 2) = Buffer(1)$ DataTable $(m, 3) = Buffer(2)$

avedata.Caption = avedata.Caption _

& "DATA" & m & " = " & Format(DataTable(m, 1), "0.0000") & Chr(13)

$$p = p + 1$$
If $p = 5$ Then
$$Q = Q + 1$$

```
Databox(Q, 1) = ave1
            Databox(Q, 2) = ave2
            Databox(Q, 3) = ave3
avedata.
Caption = avedata.
Caption & "AVE" & Q & " =
" & Format(Databox(Q, 1), "0.0000") & Chr(13)
                Text3 = avedata
               p = 0
          End If
         End If
    If m \ge 300 Then REV = 1
     End If
     GrpXPos = GrpXPos + 1 'グラフ位置更新
     If REV = 0 Then
       If GrpXPos >= MAX_GRP_X Then グラフの端まで来た
               GrpXPos = 0
              AcxXY1.ClearData
              AcxXY2.ClearData
       End If
     End If
'ラベル表示
For i = 0 To AcxAio1.ChannelNumber - 1
              '"No.* = 0.0000"形式で表示(Chr(13)は改行)
```

'電圧表示

If AcxAio1.InputRange >= 3 Then

```
lblData.Caption = lblData.Caption_
& "No." & i & " = " & Format(Buffer(i), "0.0000") & Chr(13)
                          'バイナリ表示
             Else
          If chkHex.Value = 1 Then
                                      '16 進表示
lblData.Caption = lblData.Caption_
& "No." & i & " =" & Hex(Buffer(i)) & "h" & Chr(13)
                              '10 進表示
          Else
lblData.Caption = lblData.Caption & _
"No." & i & " =" & Format(Buffer(i), "0") & Chr(13)
                   End If
             End If
     Next i
  End If
End Sub
Private Sub AcxXY1_AcxXY1_YAlarmEvent(ByVal iYAlarmStatus As Integer,
ByVal iYNumber As Integer)
End Sub
Private Sub AcxXY1_Click()
End Sub
'記録開始
Private Sub Command1_Click()
```

```
m = 0
          a = 0
         b = 0
          c = 0
         p = 0
          Q = 0
          n = 0
          vv = 1
          GrpXPos = 0
          REV = 0
          AcxXY1.ClearData
          AcxXY2.ClearData
          avedata.Caption = ""
End Sub
Private Sub Dir1_Change()
  File 1.Path = Dir 1.Path
End Sub
Private Sub Drive1_Change()
  Dir1.Path = Drive1.Drive
End Sub
Private Sub File1_Click()
  Text1 = File1.FileName
End Sub
'フォームロード時の処理
```

```
Private Sub Form_Load()
   ' newdata
  'フォームの位置を中央に
  Left = (Screen.Width - Width) Y 2
  Top = (Screen.Height - Height) Y 2
  AcxXY1.XMaximumRange = MAX\_GRP\_X
   '設定ファイルの読み込み
   Ret = AcxAio1.LoadProperty("ACXAIO.INI")
                 '自動検出
   If Ret <> 0 Then
                        設定ファイルがなければ検出/登録を試みる
     Ret = AcxAio1.AutoDetect("AIO00")
       If (Ret = 0) Then
  AcxAio1.DeviceName = "AIO00" デバイス名 AIO00 のボードを選択
        End If
   End If
       '初期化
       fncOpen
End Sub
'フォームアンロード時の処理
Private\ Sub\ Form\_QueryUnload(Cancel\ As\ Integer,\ UnloadMode\ As\ Integer)
   cmdEnd Click
End Sub
'初期化処理
Sub fncOpen()
```

```
p = 0
  m = 0
  vv = 0
 Q = 0
  REV = 0
   Dim StrCaption As String
  AcxAio1.TimEnabled = False
   Ret = AcxAio1.Open
  If Ret = 0 Then
                        プロパティの設定を表示
       fncDispProperty
       StrCaption = "簡易アナログ入力: " & AcxAio1.BoardName
       frmAcqData.Caption = StrCaption
      AcxAio1.TimEnabled = True
       GrpXPos = 0
       AcxXY1.ClearData
       AcxXY2.ClearData
   Else
MsgBox '初期化できませんでした。[プロパティ]ボタンを押してボードを登録
した後" & Chr(13) & _ "[初期化]ボタンを押してください"
   End If
End Sub
'終了処理
Private Sub cmdEnd_Click()
   '現在の状態を保存
  Ret = MsgBox("現在の状態を保存しますか?", vbYesNo)
  If Ret = vbYes Then
```

```
AcxAio1.SaveProperty ("ACXAIO.INI")
   End If
      AcxAio1.Close
   End
End Sub
'プロパティページの表示
Private Sub cmdShowProperty_Click()
   Dim tmpBoardName As String
   tmpBoardName = AcxAio1.BoardName
   AcxAio1.ShowProperty
   'プロパティページでボードが変更された?
   If tmpBoardName <> AcxAio1.BoardName Then
        DoEvents
        MsgBox "ボードが" & tmpBoardName & "から" &
AcxAio1.BoardName
        & "に変更されました。" & Chr(13) & _
             "初期化しなおします。"
         fncOpen
                       初期化時の処理
   Else
      fncDispProperty '設定表示を更新
   End If
End Sub
'プロパティの設定状態を表示
Sub fncDispProperty()
   Dim MaxRange As Single
   Dim MinRange As Single
```

Dim ChkFlag As Integer

DoEvents

lblDisp.Caption = "ボード名: " & AcxAio1.BoardName & Chr(13) & _

"I/O ንነ ፡ " & Hex(AcxAio1.IoAddress) & " h" &_

Chr(13) & "割込み: " & AcxAio1.IrqLevel & Chr(13) _

"レンシ゛: " & AcxAio1.GetSupportedRange_

(0, AcxAio1.InputRange, ChkFlag)

AcxAio1.GetInputRange MinRange, MaxRange 'グラフの Y 軸用にレンジ取得

AcxXY1.YMaximumRange = MaxRange

AcxXY1.YMinimumRange = MinRange

txtTimInterval.Text = AcxAio1.TimInterval 'タイマ周期更新

If AcxAio1.ChannelNumber > 32 Then このサンプルは 32ch までです

MsgBox "同時に表示できるチャネル数は32です。

", vbExclamation

AcxAio1.ChannelString = "0-31"

End If

'チャネル分の配列を定義

ReDim Buffer(AcxAio1.ChannelNumber)

'グラフのライン数 = チャネル数

AcxXY1.ArrayNumber = 3 'AcxAio1.ChannelNumber

'グラフのライン数 = チャネル数

AcxXY2.ArrayNumber = 3 'AcxAio1.ChannelNumber

lblChannelString.Caption = AcxAio1.ChannelString

```
End Sub
Private Sub mnuOpen_Click()
 '開く
  Dim FileName As String
REV = 1
   AcxXY1.ClearData
   AcxXY2.ClearData
   i = 0
  If Right(Dir1.Path, 1) = ** Then
               FileName = Dir1.Path & Text1
     Else
               FileName = Dir1.Path & "\tilde{\pmathbb{W}}" & Text1
  End If
 ·_____
  Open FileName For Input As #1
          For i = 1 \text{ To } 100
                    Input #1, DataTable(i)
          Next I
          For i = 1 To 20
                      Input #1, Databox(i)
            Ι
          Next i
  Close #1
        GrpXPos = 0
                For i = 1 \text{ To } 300
```

```
AcxXY1.DisplayDataY GrpXPos, DataTable(i), 1 グラフ表示 1
        GrpXPos = GrpXPos + 1 'グラフ位置更新 1
              Next i
        GrpXPos = 5
           For i = 1 To 60
            AcxXY2.DisplayDataY GrpXPos, Databox(i), 1 グラフ表示 2
             GrpXPos = GrpXPos + 5 'グラフ位置更新 2
           Next i
End Sub
Private Sub mnuSaveAs_Click()
'保存
   Dim FileName As String
   Ret = MsgBox("["& Text1 &"] で保存しますか?", vbYesNo)
     If Right(Dir1.Path, 1) = ^{*}Y Then
                     FileName = Dir1.Path & Text1
      Else
                    FileName = Dir1.Path & "\tilde{\pmathbb{W}}" & Text1
     End If
  Open FileName For Output As #1
 ·_____
  Write #1, "REAL DATA"
 For j = 1 To 3
```

```
For i = 1 \text{ To } 300
                    Write #1, DataTable(i, j)
         Next i
  Next j
   Write #1, "AVERAGE"
  For j = i \text{ To } 3
         For i = 1 To 60
                   Write #1, Databox(i, j)
         Next i
   Next j
 6_____
  Close #1
End Sub
'アナログ出力更新
  Eシリーズボードなどで自己ループでテストするのに使用します
  フォームの下の方に隠れています
Private Sub txtSingleAO_Click()
  AcxAio1.SingleAO 0, Val(txtDAData.Text), 1
End Sub
'タイマ周期の変更
Private\ Sub\ txtTimInterval\_Change()
           AcxAio1.TimInterval = Val(txtTimInterval.Text)
```

End Sub
· 'グラフクリア
Private Sub cmdClearData_Click()
GrpXPos = 0
AcxXY1.ClearData
AcxXY2.ClearData
End Sub
'' '16 進表示
Private Sub chkHex_Click()
If chkHex.Value = 1 Then '16 進表示
LastVoltRange = AcxAio1.InputRange
AcxAio1.InputRange = 0 オフセットバイナリにします
Else '10 進表示
AcxAio1.InputRange = LastVoltRange
' 16 進表示にする前のレンジに戻します
End If
cmdClearData_Click
fncDispProperty
End Sub
·
Private Sub VScroll1_Change()
End Sub

付録 C

Micro-Cap V CQ 版による アンプ・フィルター回路の解析

C アンプ・フィルタ回路の解析

本実験でバンドパス・フィルターの調整を行うにあたり、電子回路をシミュレータする Micro Cap-V CQ 版を用いてアンプ・フィルター回路の解析を行った。

C.1 Micro Cap-V CQ 版とは

電子回路をシミュレータするソフトで、回路図エデイタで解析する回路をデイスプレイ上に描き、その回路を直接解析することができる。

解析方法は主に次の4種類がある。

AC 解析:与えられた信号に対して周波数解析をするもの。

DC 解析:抵抗回路の解析や回路の直流的な動作状態を調べる。

トランジェント解析:時間の経過とともに出力がどのように変化するか

を解析するもの。

部品のばらつきによる影響を統計的に調べる。

よって、この Micro Cap-V CQ 版を用いることで次のようなことが確認できる。

- ・電子回路が理論通り動作しているか
- ・回路定数が変化した場合に特性がどのように変化するか
- ・回路を最適な状態にするには回路定数をどのようにすればよいのか
- ・目的とした特性を得るにはどのように調整すればよいか

C.2 使用する部品のパラメータの入手

Micro Cap-V CQ 版では、オペアンプなどのパラメータが入っていないため、これから実際に解析する部品のパラメータを入力する必要がある。今回の解析では、パラメータ入力の対象となるのはオペアンプ 2 点のみなのでオペアンプのパラメータの入力方法を記す。

オペアンプの場合の入力パラメータ項目を表1に示す。

表 1: オペアンプ入力パラメータ項目

	パラメータ	単位	使用レベル
A	直流開ループ・ゲイン		1
TYPE	(NPN, PNP, JFET)		1
С	補償コンデンサー	F	3
ROUTAC	交流出力抵抗		1
ROUTDC	直流出力抵抗		1
VOFF	入力オフセット電圧	V	3
IOFF	入力オフセット電流	A	3
SRP	最大正方向スルーレート	V/s	2,3
SRN	最大負方向スルーレート	V/s	2,3
IBIAS	入力バイアス電流	A	3
VCC	正電源	V	3
VEE	負電源	V	3
VPS	正方向最大スイング電圧	V	3
VNS	負方向最大スイング電圧	V	3
CMRR	同相電圧除去比		3
GBW	ゲイン帯域幅		2,3
PM	位相マージン	度	2,3
PD	消費電力	W	3
IOSC	出力短絡電流	A	3

なお、オペアンプには、1,2,3 の三つのモデルが用意されており、レベルが上がるほど等価回路は複雑になりますが、より現実的なモデルとなる。

レベル1:単純な電圧制御電流源

レベル 2: スルーレートが制限された有限の利得と出力抵抗をもつ、3段、 2ポールのモデル

レベル 3: 改良型 Boyle モデルで SPICE プログラムでアブサーキットとして 使われているものに似ている。ただし、マクロあるいはサブサーキットではなく、完全に内部的なモデル。

オペアンプのパラメータの入手は、各メーカーから出されているオペアンプ ハンドブックを参照するとよいが、今回使用したオペアンプのようにオペアン プハンドブックに載っていない物も数多くある。このような場合は、米国の会社 のホームページを参照すると良い。

今回使用したオペアンプのパラメータはナショナルセミコンダクターの米国のホームページからダウンロードした。

C.3 パラメータの入力

使用部品のパラメータの入力は、図 1 で示すモデル・エディタを使用する。入力方法は、モデル・エディタを起動させ入力したい部品名に種類セレクタを合わす。今回は、オペアンプを選びオペアンプの型番を入力した後に追加したい部品のパラメータに変更していく。変更が完了すれば入力した部品を LBR ファイルとして保存する。これで新しい部品が追加される。また、今回は、オペアンプの追加方法について述べたがトランジスタなどの他の部品に関しても同じ操作で追加した。

追加した部品を実際にエディタで描く場合は、属性対話ボックス(Attribute di alog box) で [Models] を選べば表示される。

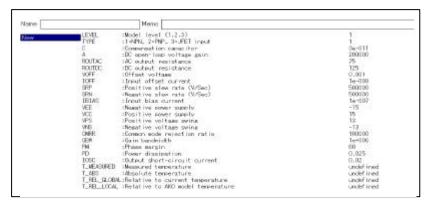


図1 モデル・エディタ

C.4 解析方法

解析する回路をエディタ上で描き解析を行う。

解析には、周波数解析を行う AC 解析を用い、アンプ・フィルター回路においてのバンドパスフィルター調整のための可変抵抗 5 つの抵抗値を変化させた。

AC 解析を行うには、図 2 で示す AC 解析範囲設定ボックス(AC Analysis Limits)を解析メニューから起動させる。

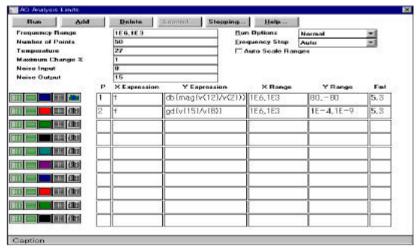


図 2 AC 解析ボックス

AC 解析範囲設定ボックスによって解析を行う条件を設定する。それぞれの項目について解説を行い本解析で指定した条件を括弧内に示す。

Frequency Range:解析する周波数範囲の指定を行う。 (1kHz~1MHz)

Number of Points:解析で計算されるポイント数に対してプリントする数を指定する。 (50)

Temperature:解析を行う温度を設定します。解析温度は、Lowから Highまで Step ごとになり、各温度において解析されます。値を一つだけ入力すればその温度での解析を行う。(27)

Maximum change %:最初の波形の変化率の指定を行う。自動周波数ステップの時のみ有効である。

Noise Input: 入力雑音を計算するための信号源の指定。 Input noise を計算する時のみ有効である。

Noise Output: 出力雑音を計算するノードを指定。Input noise と Output noise を計算するときのみ有効である。

X expression: X 軸の変数を指定する。通常は、周波数を用い F と入力 する。(F)

Y expression: Y 軸の変数を指定する。通常は、V(1)などの電圧を用いる。
V の後の括弧内は、エデイタ上でのノード番号すなわち部
品番号を入力する。(dbV(12)/V(2))

X range: X 軸スケールを指定する。(1M,1k)

Y range: Y 軸スケールを指定する。(Auto)

Fmt:整数桁と小数点以下の指定を行う。5.3 と入力すれば整数桁が5で 小数点以下が3桁であることを意味する。(5.3)

今回の解析では、可変抵抗の抵抗値を変化させるため Stepping を使用した。 Stepping とは図 3 に示すように、任意に抵抗値などの値を可変できそれをグラフに表示できるものである。図 3 の場合、抵抗 R1 を 100k から 300k まで 50k ステップで表示するという意味である。

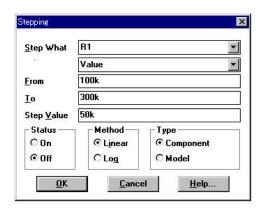


図 3 Stepping box

C5 解析結果

アンプ・フィルター回路の 5 つの可変抵抗の抵抗値をそれぞれ変化させ抵抗の増減による特性を表示させた。それぞれの抵抗値の図を 4~8 に示す。

図 4:振幅調整抵抗

図5:バンドパス中心周波数調整抵抗

図 6: 出力電圧調整抵抗

図7:バンド幅調整抵抗1

図8:バンド幅調整抵抗2

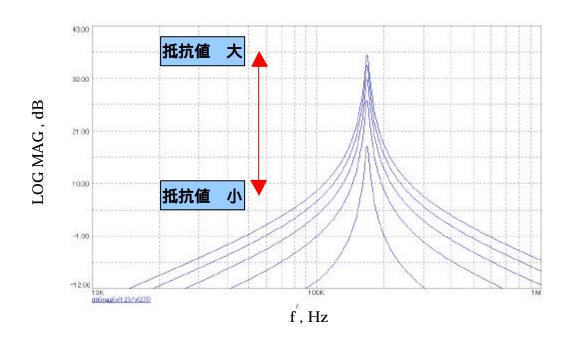


図 4 振幅調整抵抗

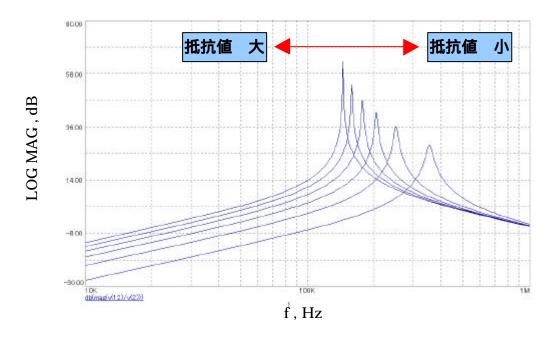


図 5 中心周波数抵抗

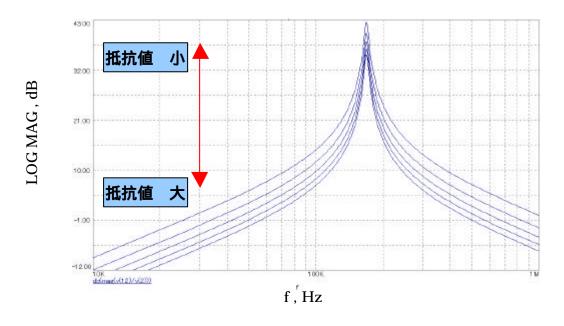


図 6 出力電圧調整抵抗

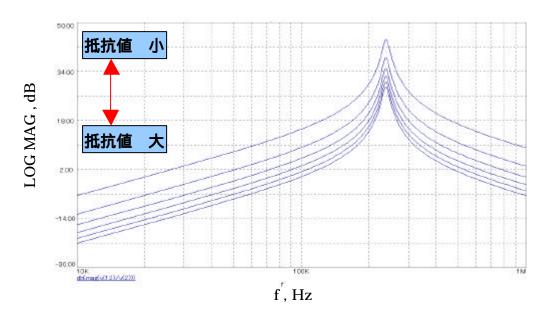


図7 バンド幅調整抵抗1

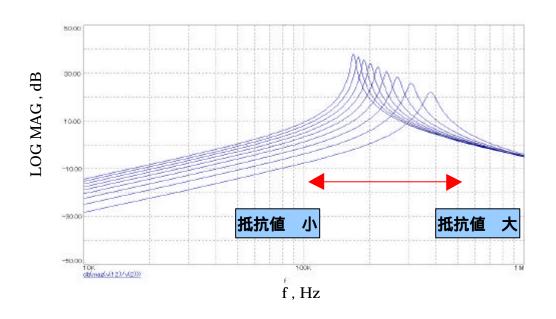


図8 バンド幅調整抵抗2

・付録 B 参考文献

- [1] 川口 輝久、河野 勉:かんたんプログラミング Visual Basic 6 基礎編技術評論社(1999)
- [2] 川口 輝久、河野 勉:かんたんプログラミング Visual Basic 6 応用編技術評論社(1999)
- [3] 若山 芳三: 学生のための Visual Basic 東京電気大学出版局(1999)

·付録 C 参考文献

- [1] 蒲生 良治: トランジスタ技術 No.17 特集 OP アンプによる回路設計入門 CQ 出版社(1996)
- [2] 蒲生 良治:トランジスタ SPECIAL 特集電子回路シミュレータ活用マニュアル CQ 出版社(1998)
- [3] ナショナル セミコンダクター:ナショナルセミコンダクター
- [4] 米国ナショナルセミコンダクター http://www.national.com/