

学 校 名	鶴 岡 高 専	No. 1	
氏 名	横 田 礼	職 名	技術室 技術職員
題 目	指 圧 線 図 解 析 プ ロ グ ラ ム の 制 作		

1. 緒 言

この内容は本校機械工学科5年生の実験において、エンジンの特性試験を実施するにあたりその性能を調べる一環として、実際の歪みセンサー（指圧計）で得られた P-θ 線図から解析の利便性を考慮して P-V 線図に変換するプログラムを制作し、利用している現状について報告するものである。

ここでは学生へのパソコン使用による各種のデータ解析が可能となることを実際に知らしめることと、パソコンの利用により作業スピードの向上に勤めることが目的である。

2. 実験装置の概要

装置の概要を Fig.1 に示す。エンジンヘッドに取り付けられた指圧計からは増幅器を通して Fig.2 のような P-θ 線図が得られる。このままでは性能を調べることができないので、これを P-V 線図に変換する必要がある。そこで P-θ 線図上の各点をパソコンに入力し、それを(1)式をもとに上死点からの距離を算定し、行程容積に変換する。そして各々の行程容積における P-θ 線図上の高さを算定し、それを圧力に換算する。

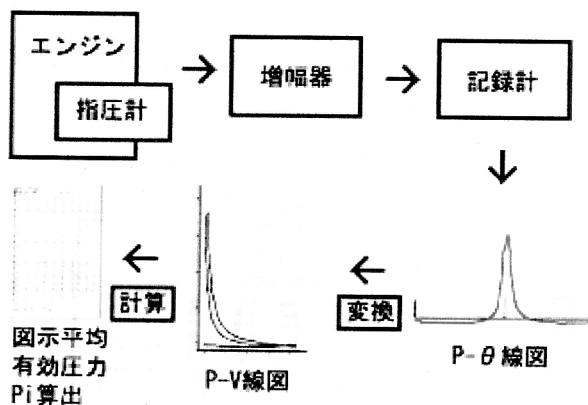


Fig. 1 Schematic illustration of apparatus

$$\chi = r(1 - \cos \theta) \left\{ 1 + \frac{1}{1 - \cos \theta} \left(\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta} \right) \right\} \quad (1)$$

χ : ピストン上部の上死点からの距離

r : クランク半径

θ : クランク角度

(λ = L / r)

ただし L はコンロッドの長さ

ここでの問題は上死点である。（光センサーを使用しているためどうしてもそのマークに幅ができてしまう。これらのことを考え合わせて数回の解析を行い、最適な上死点の位置を決めなければならない。）そして求められた P-θ 線図が Fig.2 に示してある。

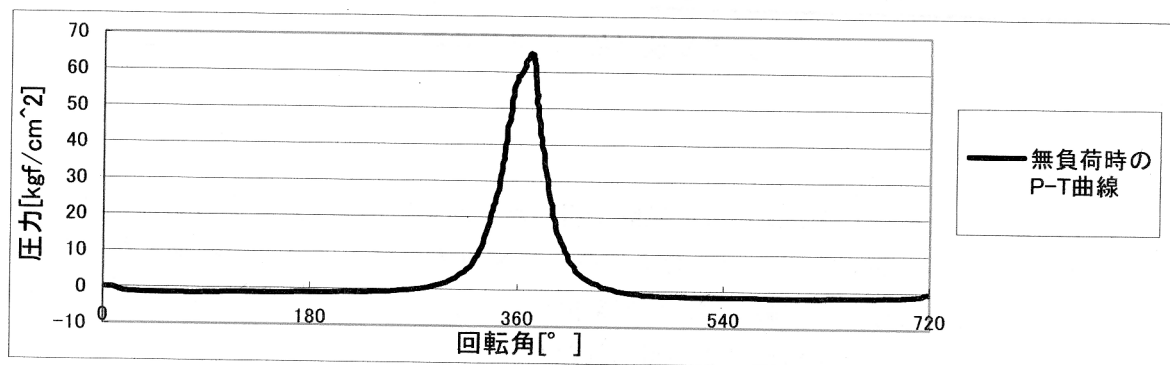


Fig. 2 P-θ Diagram の一例

学 校 名	鶴 岡 高 専	氏 名	横田 礼	No. 3
-------	---------	-----	------	-------

5. 今後の課題

- ① 解析の精度を上げるためデータを読み取るときの誤差を少なくする。
- ② どうしても低負荷での解析が上死点の位置のわずかなずれによって大きく影響されるので、その影響を極力おさえるような方法を考案していきたい。
- ③ パソコンでの解析方法（手順）をもう少し単純化できないかを検討する。

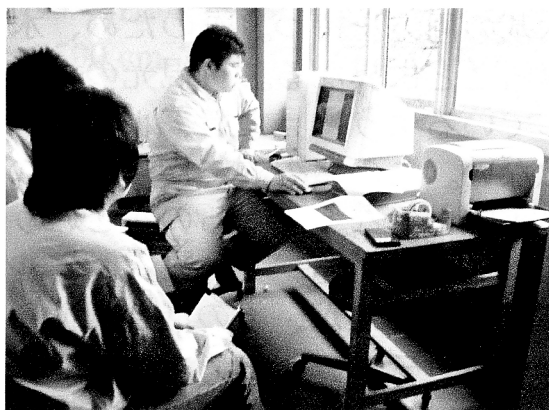


Fig. 4 全景

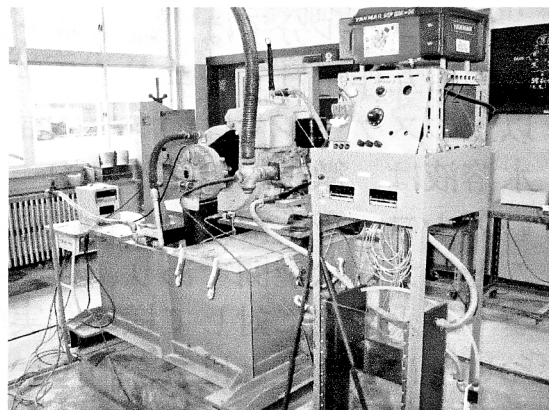


Fig. 5 解析対象のディーゼルエンジン

表 1 ディーゼル機関の緒元

エンジン型式	ヤンマーNF80 型
エンジン種類・シリンダー数及び配置	4 サイクル横型単気筒水冷定速回転機関
シリンダー内径×行程 (mm)	80×87
行程容積 (cc)	437.3
圧縮比	約 22
燃料種類	A 重油
定格出力 [kW(PS)/rpm]	4.4(6.0) /2200

1-プロパノール水溶液の赤外分光

技術室第二班 長俊広

アルコール分子は、親水基と疎水基の両方を持つ。このため、水との相互作用はアルコール分子の場所ごとに異なる。可視光の波長以上のスケールでは、均一に混合しているように見えるアルコール水溶液は、微視的に見ると均一ではない。この微視的に均一ではないアルコール水溶液の混合状態が、実際どうなっているのかということが大きな疑問であり、興味のあることである。これまで、アルコール水溶液に対して様々な実験が試みられたが、その混合状態についてははっきりとは分かっていない。最近では、水とアルコールが混合の状態について知るため、通常のアラマン散乱の測定が行われた。混合系のスペクトルを純物質の重ね合わせによって表し、ずれの程度が濃度によってどう変わるかが測定された。その結果、1-プロパノール-水系では、 2800 cm^{-1} 領域で水のモル分率が0.8付近で極大を取り、 3500 cm^{-1} 領域で水のモル分率が0.7付近で極大を取ることが分かった。そこで、本研究では、ATR法による赤外分光を用いて、アラマン分光と同じ波長領域で1-プロパノール水溶液の測定を行い、混合状態が濃度によってどう変化していくか検討した。測定は赤外吸収分光器FT/IR-410 (Jusco)を用いて測定した。試料溶液をセルにピペットマンで十分な量を流し込み、各濃度 (0.00、0.07、0.14、0.21、0.28、0.35、0.42、0.49、0.56、0.63、0.70、0.77、0.83、0.88、0.92、0.96、1.00) の試料を測定していった。測定結果は、図1のようになった。図1に見られるように、 $2800\sim 3000\text{ cm}^{-1}$ に現れているCH伸縮振動モードと $3000\sim 3800\text{ cm}^{-1}$ に現れているOH伸縮振動モードを減衰振動の重ね合わせにより再現しようと試みたが、濃度変動に対して特徴ある変化が見られなかった。そこで、同じ範囲について、純1-プロパノールと純水の測定スペクトルを用いた純物質の重ね合わせによるフィッティングを行い、そのずれを評価した。純物質からの重ね合わせからのずれを各濃度についてプロットすると図2のようになった ($3000\sim 3500\text{ cm}^{-1}$ 間についてフィッティングしたもの)。図2より、純物質の重ね合わせからのずれが最も大きかったのは水のモル分率が0.8付近であることが分かる。ここの範囲に合わせてフィッティングを行ったにもかかわらずこれだけのずれが出た。この濃度は過去の様々

な実験の結果から異常が起きているのではないかと指摘されてきた濃度である。赤外の実験でもこの異常が見られた。最近行われた高振動ラマン分光の結果と比較すると、赤外分光の方がずれが大きかったが、最大値を示す濃度は近い値を示した。2800～3000 cm^{-1} 間についても同様のフィッティングを行い、そのずれを評価した。3000～3500 cm^{-1} 間についてと同様に、水のモル分率が0.8付近で最大値を示した。やはり、水のモル分率が0.8付近で異常が起こることは確からしい。

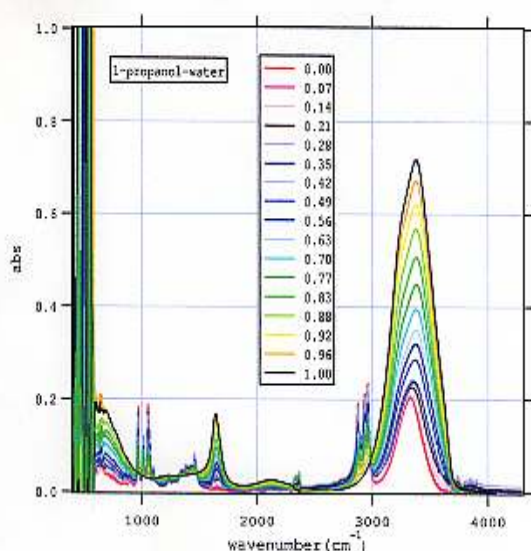


図1 1-プロパノール水溶液のスペクトル

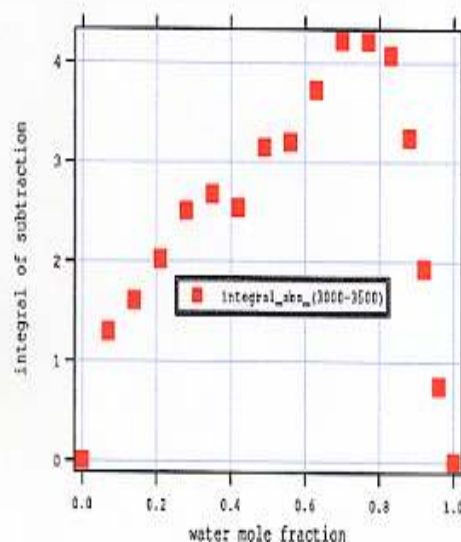


図2 3000～3500 cm^{-1} 間の線形結合からのずれの大きさ (3000-3500 固定)

間接境界要素法による二次音源を装備したスリット状共鳴器の音響特性の解析

鶴岡工業高等専門学校 技術第一班 鈴木 大介

1. はじめに

機器開口部から放射される騒音を能動制御(ANC)する上で、スリット状共鳴器とスピーカとの複合化した二次音源により、有効な周波数領域の拡張および広範囲な音場での消音が実現される。その消音効果はスリットの形状によるところが大である。そこで、本研究は、二次音源を装備した円形スリットおよび楕円形スリットさらに、楕円形状をクロスにしたクロススリットの音響伝達特性について、間接境界要素法による数値音響解析ならびに実験を行なった。

2. 実験装置および方法

実験に使用している装置を図1に示す。スリット状共鳴器は、中心に通風のための開口穴(直径175mm)を有する2枚の亚克力板によって、同じく中心に円形または楕円形などの形状の穴を持ったスペーサを挟んで構成されている。これにより、内部には、円形、楕円形などの空気薄膜層が形成される。ANCを行なう場合、制御スピーカにより空気薄膜層を音響加振させ、スリット開口部の円周上から制御音が放射される。この複合した二次音源装置は機器を模した拡散箱前面の開口部に装着している。この音源装置から放射される音を開口部の中央、スリット状共鳴器前面から20mmの位置に設置したマイクロホンで集音し、測定を行なった。

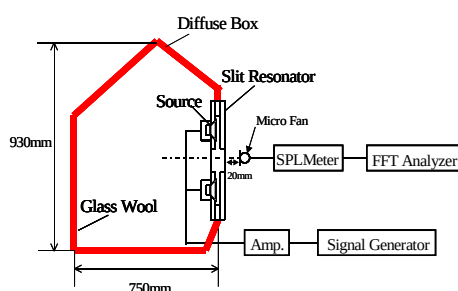


図1 実験装置

3. 解析方法

解析は、種々の径に変化させた円形スリット、楕円形スリット(スリットの長軸を410mmに固定し、短軸を変化させた)、さらにクロススリットを作成して行なった。スリットの厚さはすべて一定の7mmとしている。音源の位置は開口部(直径:175mm)の中心から左右に150mmの位置に点音源として配置した。配置する点音源は、円形スリット及びクロススリットの場合4個、楕円形スリットの場合2個とした。

4. 音源を装備したスリットの放射特性

図2に、楕円形スリット(短軸/長軸、210/410mm)の開口部からの放射音圧の実験及び解析結果を示した。ほぼ実験結果に近い傾向が解析により得られたことから、同様の条件で他のモデルについても解析を行なった。図3は、共鳴器内部の音圧分布をColor Mapを使用してマッピングしたものを示したものである。共鳴点で、音源部とその外側の全てのレベルが高くなっていることがわかる。

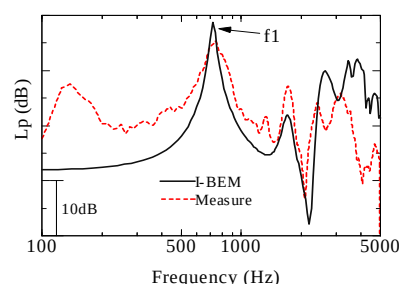


図2 楕円形スリットの放射特性

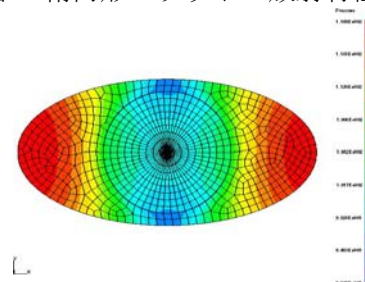


図3 楕円形スリットの内部分布

5. クロススリットでの放射特性の実験と解析結果

図4に示すように、楕円形スリット(260/410mm)をクロスに組み合わせた形状のクロススリットを作成した。このクロススリットの効果を楕円形スリット及び円形スリットの特性和比較した。モデルの寸法は、円形スリット(径410mm)、楕円形スリット、長軸を410mm一定、短軸を(180、260、310mm)と変化したクロススリットとした。

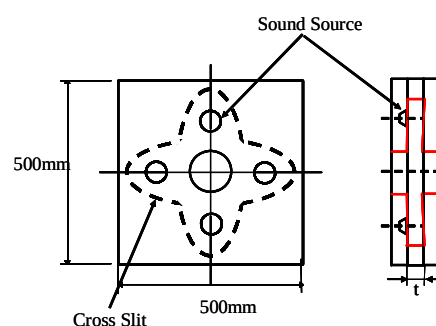


図4 クロススリット状共鳴器モデル

図 5 は、短軸を変化させたクロススリットの解析結果である。短軸が小さいほど共鳴周波数が高い位置に移動する傾向がある。また、高周波域では短軸が短いほど音圧レベルが上昇している。また、解析によってこのクロススリットの効果を円形スリットおよび楕円形スリットの特性と比較した。図 6 より、円形スリットでは、反共鳴点(1500Hz 付近)で放射特性が大幅に減少しているが楕円形スリットおよびクロススリットでは共鳴点が多く、これにより、放射特性のレベルの低下が少ないと考えられる。また、クロススリットと楕円形スリットを比較すると装着した点音源の数が多いため放射音のレベルが増加する。

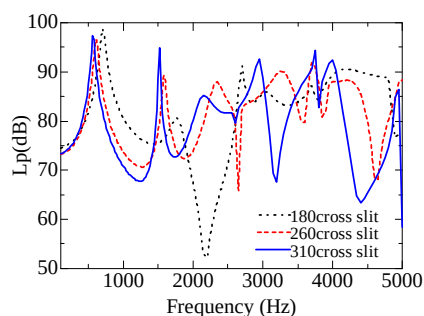


図 5 クロススリットの放射特性

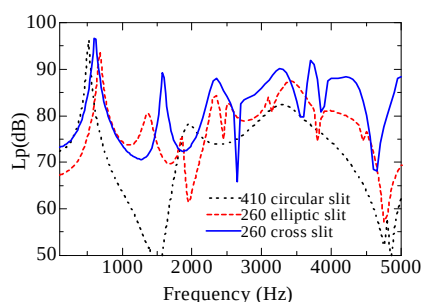


図 6 各スリットの放射特性

6. 音源を非対称に装備したスリット状共鳴器の特性

6. 1 楕円形スリット状共鳴器の解析結果

楕円形スリット状共鳴器 ($D_a/D_b = 210\text{mm}/410\text{mm}$) について音源の配置位置は片側を通常の 150mm の位置、もう一方を中心から 120mm と 180mm 離れた場合の放射特性を解析した。

6. 1. 1 放射特性の解析結果

図 7 は、楕円形スリット状共鳴器の音源配置変化による解析結果である。円形スリット状共鳴器と同じように第 1 共鳴点に関しては、それぞれ変化は生じないが反共鳴点に関して、音源の配置位置が中心より遠いほうが共鳴周波数は高い位置に移動する傾向がある。配置位置を 120mm した場合、共鳴点と反共鳴点がはっきりしている。それに対して、配置位置を 180mm した場合、第 2 共鳴点以降は共鳴点と反共鳴点の差がほとんどないことがわかる。

6. 1. 2 共鳴器の放射分布の解析結果

図 8 には、楕円形スリット状共鳴器(短軸/長軸、 $D_a/D_b=210/410\text{mm}$)、音源配置を 120mm としたときの放射音圧の結果より第 1、第 2、第 3 共鳴点を求め、共鳴器内部の音圧分布を Color Map を使用してマッピングしたものと示したものである。

共鳴器内部について、第 1 共鳴点は、音源部とその外側の全てのレベルが高くなっていることがわかる。第 2 共鳴点では、配置した位置とは逆に音圧が高くなっており、第 3 共鳴点では、配置した位置の音圧が高くなっている。

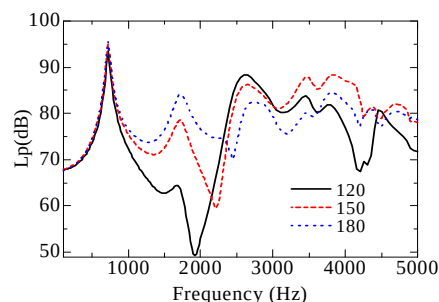


図 7 楕円形スリットの音源配置変化による結果

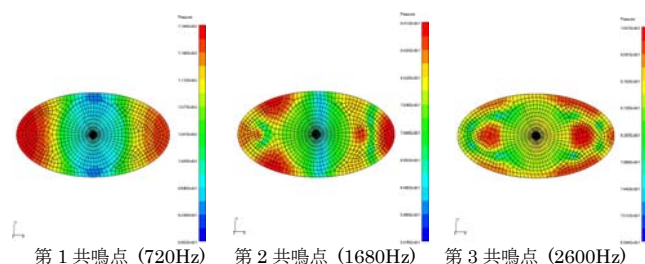


図 8 楕円形スリットの音源配置 120mm の内部分布

7. まとめ

二次音源を装備した、異なる形状のスリット状共鳴器開口部からの音響放射特性の結果を比較すると、円形スリットでは、放射特性の悪い周波数があるのに対し、楕円形スリット、クロススリットでは周波数のほぼ全域にわたり、良好な放射効果が認められた。

以上のシミュレーションの結果は、ANC 用の二次音源を装備したスリット状共鳴器の設計に利用できると思われる。

参考文献

1. 鈴木大介, 柳本憲作, 渡部誠二, 高橋光: 二次音源を装備したスリット状共鳴器の音響特性, 日本機械学会 2004 年度年次大会講演論文集, 講演 No.1535
2. 鈴木大介, 柳本憲作, 渡部誠二: 間接境界要素法による二次音源を装備したスリット状共鳴器の音響特性の解析, 鶴岡工業高等専門学校 平成 16 年度専攻科特別研究論文集, p.63-70

第8回東北地区国立高等専門学校技術職員研修
「技術課題発表」の概要

学 校 名	鶴岡工業高等専門学校	No. 1	
氏 名	佐藤 良紀	職 名	技術職員
題 目	2軸方向加振を受ける柔軟構造物の不安定振動に関する実験		

1. 緒言

私達の国日本は地震と非常に身近な存在であり、世界の様々な場所でも地震は非常に大きな災害をもたらしている。また近年、社会の高度化に伴い鋼製橋脚、タワー等の構造物は大型化、高層化する傾向にあり、これらに巨大地震が加わることにより、建物内に収容されている電子計算機、通信施設といった、社会的に重要なものに対して大地震災害が危惧される。

本研究では柔軟構造物（高層ビル、アンテナ等）を弾性梁としてモデル化する。（片持ち）弾性梁が鉛直方向に加振されると、弾性梁が持つ固有振動数の2倍の加振振動数付近で、ある振動モードが発生し、その現象をパラメトリック不安定振動という。その現象について加振振幅、加振振動数を変化させながら実験を行った。

2. 試験弾性梁

本実験で使用したアルミニウム製の矩形断面の試験弾性梁の図を Fig.1 に諸元を Tab.1 に示す。ここで、 m は弾性梁の全質量、 m' は振動部の質量、 ρ は密度、 E はヤング率である。次に、矩形断面の試験弾性梁の剛性の小さい方を Y 方向、剛性の大きい方を X 方向と定義する。次に試験弾性梁の固有振動数を Tab.2 に示す。

3. 実験装置

実験装置のブロックダイアグラムを Fig.2 に示す。Computer①で加振条件を設定し、SPU②で加振信号を発生する。その信号を Amplifier③で増幅させた後、加振機に送り加速度計 Pick-up⑤で加振台の加速度を検出してフィードバックをかける。加振された弾性梁⑥の応答速度は VPI Sensor⑧によって測定され、それを Graphtec DQ8100⑨に送り、Graphtec DQ8100⑨から Computer⑩へ送られる。Computer⑩において時間に対する速度応答データが得られる。そのデータを Fortran で周波数応答に変換し、弾性梁の応答の周波数応答曲線が測定される。

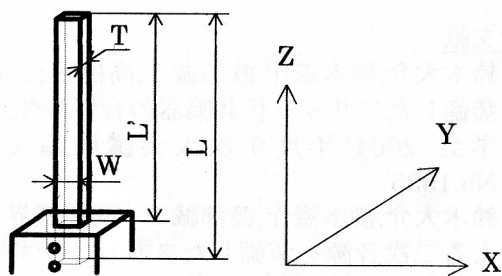


Fig. 1 Test elastic beam : Al

Tab. 1 Characteristics of test elastic beam

Material	L [mm]	L' [mm]	W [mm]	T [mm]
Al	550.0	480.0	12.0	2.1
m [gr.]	m' [gr.]	ρ [gr./cm ³]	E [GPa]	
35.0	30.8	2.55	69	

Tab. 2 Natural frequency of test elastic beam [Hz]

	Y direction			X direction
	1st	2nd	3rd	1st
Experiment	7.0	44.0	124.0	41.0
Calculation	7.0	44.6	125.0	40.0

学 校 名	鶴岡工業高等専門学校	氏 名	佐藤良紀	No. 2
-------	------------	-----	------	-------

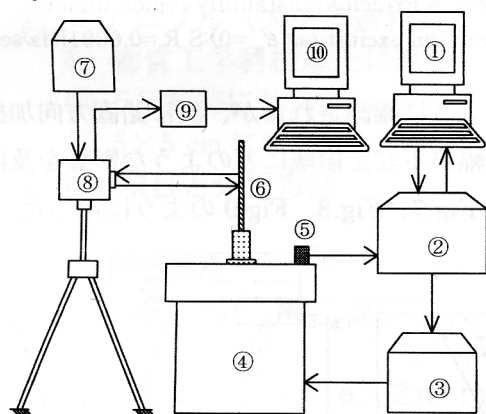
4. 実験方法及び実験結果

試験弾性梁は支持台にしっかりと固定され、一定の加振振幅、Sweep Rate(S.R.)によって、正弦波掃引された。温度環境は室温を一定 ($20^{\circ}\text{C}\sim 23^{\circ}\text{C}$) に保って測定を行った。また、水平方向加振振動数を $f_H[\text{Hz}]$ 、鉛直方向加振振動数を $f_V[\text{Hz}]$ 、X,Y,Z 方向加振振幅をそれぞれ $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z[\mu\text{m}]$ と定義する。

本研究の加振条件として Fig.3 の(a)は Z 方向に $f_V=2f_{y1}$ の条件で加振させ、鉛直方向加振振幅 ε_z を変化させ、不安定領域を測定する。(b)は X 方向と Z 方向の同時加振により $f_V=2f_{y1}, f_H=f_{y1}, f_H=2f_{y1}, f_H=f_{x1}$ の条件で加振させ、鉛直方向加振振幅 ε_z 、水平方向加振振幅 ε_x を変化させ不安定領域を測定する。

4-1 水平1軸加振

鉛直1軸加振に、更に水平方向加振が加えられた時の不安定領域に及ぼす影響を調べる前に、パラメトリック振動に対する水平方向加振の影響を的確に考慮するため、水平1軸加振のみの実験を行った。特に、パラメトリック振動が現れる振動数領域、つまり1次モードの固有振動数の2倍付近に水平方向加振での応答が現れない事を確認しておく必要がある。その結果を Fig.4 に示す。パラメトリック振動が現れる振動数領域に応答が現れていないことが確認できた。



- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| ①PC: FA2100 | ⑤Acceleration Pick-up |
| ②Signal Processing Unit: SPU | ⑥Test Beam |
| ③Electric Power Amplifier | ⑦Universal Power Supply Unit |
| ④Three-Axis Exciter: TE-2000s-5H | ⑧VPI Sensor Optical Unit |
| ⑨Graphtec DQ8100 | ⑩PC: XPS-D300S |

Fig. 2 Experimental set-up

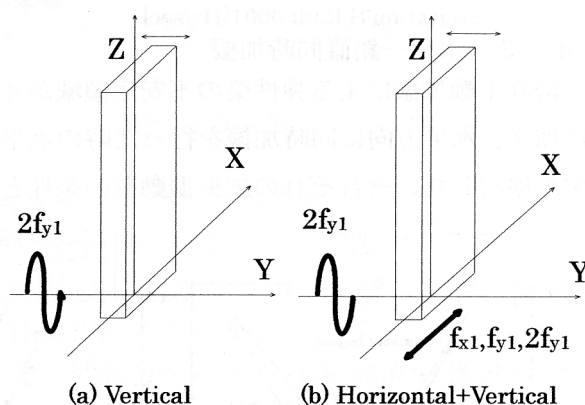


Fig. 3 Excitation types

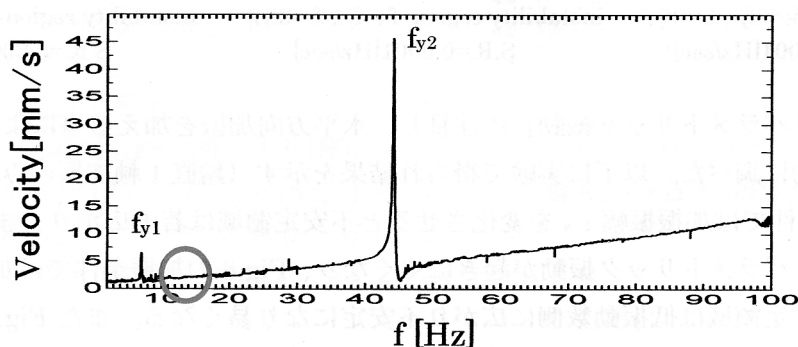


Fig.4 Frequency response for single Y-axis excitation: $\varepsilon_y=50[\mu\text{m}]$, S.R.=0.01[Hz/sec]

4-2 鉛直1軸加振

弾性梁をY方向の1次の固有振動数の2倍 ($2f_{y1}=14\text{Hz}$ 付近) において鉛直1軸加振 (Z方向) し、パラメトリック振動が発生する不安定領域を測定した。測定方法は Fig.5 で順方向、逆方向掃引を行うと、ある振動数で突然ピークが現れる。ピークが現れる振動数を不安定領域の臨界振動数とする。Fig.6 ではある振動数で突然ピークが現れ、不安定になり始めた時の振動数 $f_v[\text{Hz}]$ を横軸に、鉛直方向加振振幅を $\varepsilon_v[\text{mm}]$ を縦軸にした結果を示す。また、直線で囲まれた **Instability region** (不安定領域) 内はパラメトリック振動が発生する領域であり、加振振幅 ε_v を大きくする事によって不安定領域が広がっていくことが確認された。

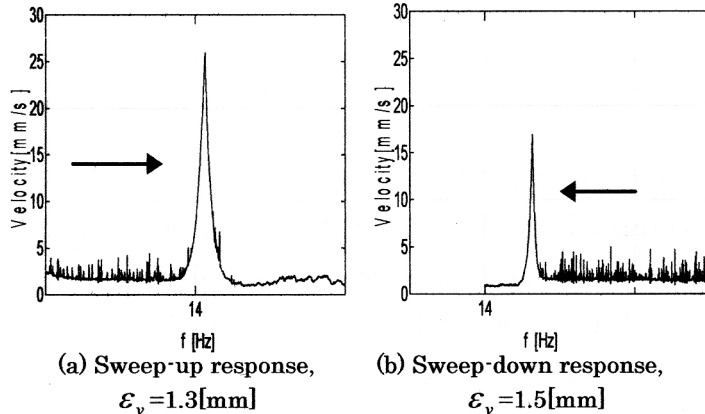


Fig. 5 Frequency response for single Z-axis excitation: S.R.=0.0001[Hz/sec]

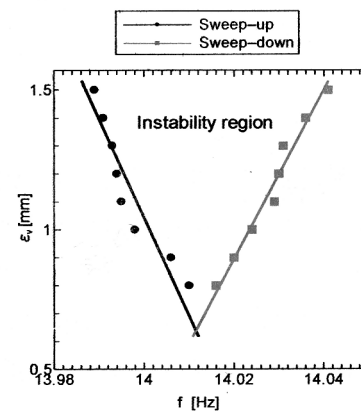


Fig. 6 Principal instability region under single-vertical excitation ($\varepsilon_x=0$): S.R.=0.0001[Hz/sec]

4-3 水平—鉛直同時加振

鉛直1軸加振による弾性梁の不安定領域が4-2のように確認されたが、次に鉛直方向加振に加え、水平方向に同時加振を行った時の水平加振振幅が不安定領域にどのような影響を及ぼすか検討した。それぞれの加振振動数の条件と結果は Fig.7、Fig.8、Fig.9 のようになった。

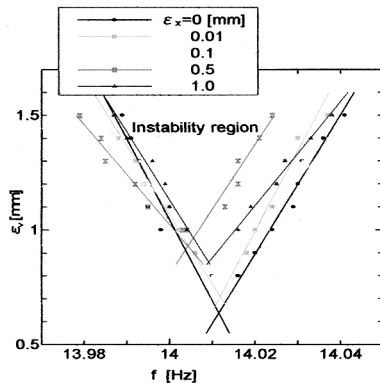


Fig. 7 Effect of ε_x on principal instability region: $f_H=2f_{y1}$, $f_v=2f_{y1}$: S.R.=0.0001[Hz/sec]

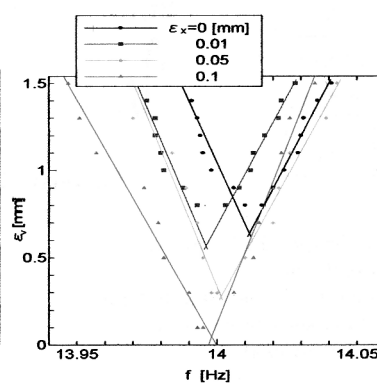


Fig. 8 Effect of ε_x on principal instability region: $f_H=f_{y1}$, $f_v=2f_{y1}$: S.R.=0.0001[Hz/sec]

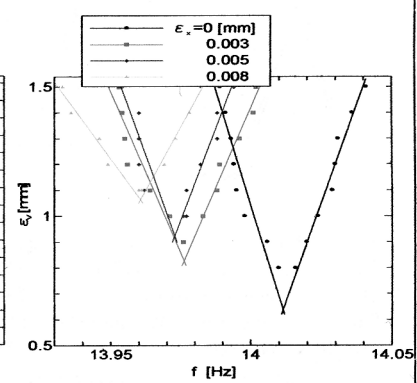


Fig.9 Effect of ε_x on principal instability region: $f_H=f_{x1}$, $f_v=2f_{y1}$: S.R.=0.0001[Hz/sec]

5. 結言

今回の実験は「パラメトリック振動」に注目し、水平方向加振を加える事による不安定領域への影響を実験的に調べた。以下に実験で得られ結果を示す (鉛直1軸加振のみと比較)。

- Fig.7 の加振条件では加振振幅 ε_x を変化させると不安定領域は若干広がり、また ε_v の大きい領域に移動し、パラメトリック振動が起きにくくなり、Fig.8 の加振条件では加振振幅 ε_x を変化させると不安定領域は低振動数側に広がり不安定になり易くなる。また Fig.9 の加振条件では加振振幅 ε_x の増加と共に不安定領域は ε_v の大きい領域に移動し、低振動数側に移動する。

「酸性雨とエアロゾルの化学成分の分析」

鶴岡工業高等専門学校 技術専門職員 八幡喜代志

1. 緒 言

本校物質工学科には優れた分析機器、測定機器が数多く備わっており、それらの中で特にICP発光分光分析装置や原子吸光分析装置等の無機分析機器を担当しながら研究や教育に技術支援をしてきている。

本発表会では、環境分析研究室の研究に係わってきたことから、鶴岡市に降る酸性雨(雨水と雪)とエアロゾル(大気浮遊物質)中の化学成分の分析方法の検討やその結果、あるいは解析方法について発表する。

併せて、機器のメンテナンスに係わる事例、学生実験および卒業研究における支援の実例についても紹介する。

2. 方 法

2-1 試料採取と試料の調製

1) 降水(雨水と雪)の試料採取

◎ 物質工学科棟の屋上等にジョッキをセットして採取

2) エアロゾル(大気浮遊物質)の試料採取

◎ 物質工学科棟屋上に設置したエアサンプラーでフィルターに採取

◎ 5日間毎にサンプリング

◎ 5×5 cm に切断したフィルターを水抽出法、酸抽出法、酸分解法で処理

2-2 分析項目と分析方法

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1) pH | : 東亜電波社製 HM-30V 型 pH 計 |
| 2) 電気伝導度 | : 堀場社製 DS-14 型 電導度計 |
| 3) 陰イオン(Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-}) | : DIONEX 製 QIC イオンクロマトグラフィー装置 |
| 4) NH_4^+ | : ORION 社製 SA520 型イオンメーター |
| 5) Na、Mg、Al、Ca、Fe、Zn | : セイコー電子社製 SPS-4000 型 ICP 発光分光分析装置 |
| 6) K、Pb | : 日立 Z-5000 偏光ゼーマン原子吸光分析装置 |

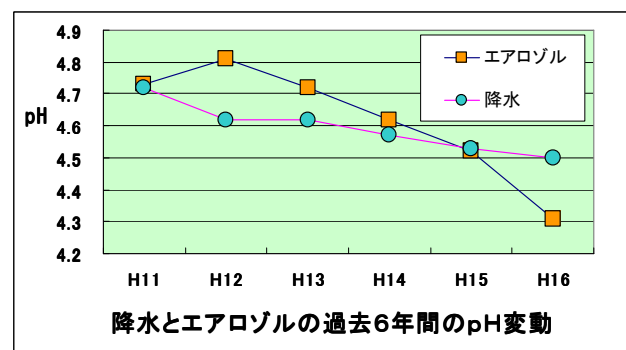
3. 結果及び考察

1) 降水とエアロゾルの pH 変動

平成11年から平成16年までの6年間の降水とエアロゾルのpHは、いずれも pH4.8 以下の強い酸性状態になっている。

2) 酸性化成分と中和成分

酸性化成分 $[\text{nss-SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-]$ と中和成分 $[\text{nss-Ca}^{2+}] + [\text{NH}_4^+]$ を当量濃度でプロットした解析方法により、酸性化の要因の一つを探ることができる。



3) Na^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} の月別濃度（降水）

Na^+ 、 Cl^- は海塩成分であるが、特に冬季間の季節風の影響が大きい

Ca^{2+} が春先に多いのは黄砂の影響と見られる

4) 4種類に分類した気圧配置（採水毎に天気図で分類）

（但し、気圧配置の名称は低気圧の位置で便宜的に付けたもの）

冬型低気圧型：いわゆる西高東低の冬型の気圧配置で、季節風が強い

日本海低気圧型：3月～5月の黄砂期に見られるパターンで、風向きは巾広い

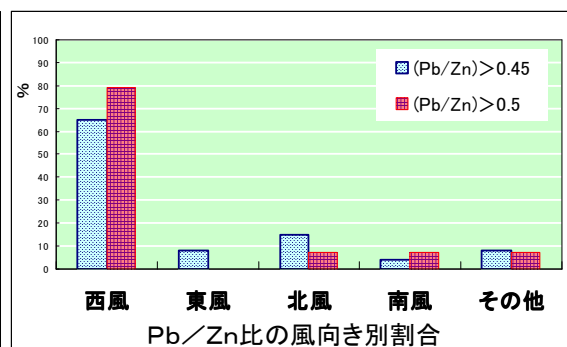
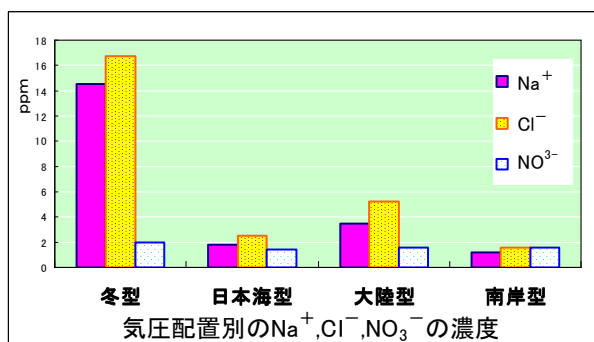
大陸低気圧型：中国・シベリア大陸に低気圧があり、夏季と秋季に見られる

南岸低気圧型：6月の梅雨時と9月に出現し、台風もこれに含めた

5) 気圧配置別の Na^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- の平均濃度（降水）

西風の強い冬型と大陸型(秋季)では Na^+ 、 Cl^- が多く、風向きの影響が大きい例

NO_3^- は風向きに左右されずほぼ一定；排気ガス等の現地性物質



6) Pb/Znの風向き別割合（エアロゾル）

Pb/Znは人為的起源の指標；特にPbは車の排気ガス

日本での年平均は0.3以下；無鉛ガソリンの使用

中国では有鉛ガソリンの使用により年平均0.8以上との報告もある

0.45以上と0.5以上に分けて解析すると、いずれも西風の時の割合が大きい

7) エアロゾル中の nss-Ca^{2+} と $[\text{Al} + \text{Fe}]$ 及び黄砂期における重量と $[\text{Al} + \text{Fe}]$ の相関

いずれもその相関係数は0.93 以上と高い

しかも黄砂にはSEM(走査型電子顕微鏡)の観察で結晶状の塩分が認められた

[参考] 事例紹介

1) 機器のメンテナンスに係わる事例

メンテナンス費用の節約；電話のやりとりによるメンテナンスと技術の習得

X線管球の長寿記録；冷却水の徹底した水質管理、管電圧・管電流の操作

2) 実験・卒研における教育支援の実例

実験テキストの工夫；長文から箇条書き形式、ステップアップ方式

実験結果のパソコン入力、データ整理のためのソフトの作成