



## パンチングメタル板を通過する気流による騒音増大現象

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本機械学会 公開日: 2019-07-31 キーワード (Ja): キーワード (En): Aerodynamic sound, Perforated metal plate, Air flow, Lock-in, Coherent output power, Noise 作成者: 松本, 大樹, 五十嵐, 聡, 海野, 正樹 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00009974">http://hdl.handle.net/10258/00009974</a>

# パンチングメタル板を通過する気流による騒音増大現象

松本 大樹<sup>\*1</sup>, 五十嵐 聡<sup>\*2</sup>, 海野 正樹<sup>\*3</sup>

## Noise increase phenomenon of the air flow through a perforated metal plate

Hiroki MATSUMOTO<sup>\*1</sup>, Sou IGARASHI<sup>\*2</sup> and Masaki UMINO<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup>Muroran Institute of Technology

27-1 Mizumoto-cho, Muroran-shi, Hokkaido 050-8585, Japan

<sup>\*2,\*3</sup>Division of Production Systems Engineering, Course of Mechanical Engineering, Muroran Institute of Technology

27-1 Mizumoto-cho, Muroran-shi, Hokkaido 050-8585, Japan

### Abstract

The aerodynamic noise generated from a perforated metal plate varied by air-flow direction. In the case of expansion type perforated metal plate, it generates very large level aerodynamic noise with a prominent peak in the frequency characteristic. In this paper, velocity fluctuation at some measuring points is measured by a hotwire anemometer to examine its cause. In the experiment, coherent output power (COP) of velocity fluctuation is calculated. The coherence function is defined by the relations between the generated noise and velocity fluctuation of air flow behind perforated metal plate. The expansion type perforated metal plate generates orderly vortex shedding and it brings the vibration of perforated metal plate. The distribution of partial overall value of COP indicates strong correlation with the plate vibration mode. That phenomenon is predicted as lock-in phenomenon between vortex and vibration of the plate.

**Keywords** : Aerodynamic sound, Perforated metal plate, Air flow, Lock-in, Coherent output power, Noise

## 1. 緒 言

パンチングメタル板はサイレンサーなどの内部構造で利用される部品の一つで、消音構造を実現するために利用されている。例えば、管路の急拡大部で生じる低周波数の脈動を抑えるために利用されたり、ヘルムホルツ共鳴による騒音抑制を狙ったりする目的で利用されている。中でも工場などで利用されるガスタービンやディーゼルエンジンの排気用ダクト内では、30~50m/sの排気ガスを流入させており、剥離流れによる大きな脈動が生じるなどの問題がある。そこで流れの急拡大部などに噴流を拡散させる構造を配置するなど、渦構造を小さくすることによって騒音を抑制する仕組みが考案されている。その際に、パンチングメタル板が利用される場合がある。この他にもパンチングメタル板を整流や流量調整などに用いる例が見られるが、パンチングメタル板が流れに直交して設置され、30m/s以上の気流が通過する際に発生する空力騒音に関する研究例はあまり見られないようである。例えば、パンチングメタル板が気流にさらされる場合に発生する空力騒音に関する研究（高倉他，1999）があるが、30m/s以下の比較的低流速の現象を扱っており、30m/s以上の気流が生じる現象に対する知見は得られていない。また、管内に取り付けた単孔のオリフィス（奥井他，1992）、（奥井他，1993）や複数孔の場合について、渦放出周波数（大久保他，1988）やロックイン現象（佐野，1997）を検討した結果は報告されているものの、管路はオリフィスの前後で同一直径であり、サイレンサーのように開放空間への噴出する状況とは異なっている。さらに、市販品のパンチングメタル板は打ち抜き加工で製作され、打ち抜き加工により孔の断面積は板厚方向に対して変化している。このため、流路の形状変化による騒音への影響が考えられる。パンチングメタ

No.18-00456 [DOI: 10.1299/transjsme.18-00456]

<sup>\*1</sup> 正員，室蘭工業大学（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）

<sup>\*2</sup> 元室蘭工業大学 大学院

<sup>\*3</sup> 学生員，室蘭工業大学 大学院

E-mail of corresponding author: h\_matsu@mmm.muroran-it.ac.jp

ル板の孔の流路断面の変化の影響については、流動抵抗の変化に関する研究例（岩佐他，1987）や孔周囲の面取りが圧力変動へ及ぼす影響の検討例（大久保他，1988）もあるが、発生する騒音との関連については触れていない。

このため、筆者らはパンチングメタル板を通過後に大気開放される流れについて、その騒音特性を実験的に調査してきた。具体的には、パンチングメタル板を通過する気流方向を前後逆にして、その際に発生する空力騒音の特性が異なることを明らかにした（宮野他，2013）。すなわち、パンチングメタル板の孔直径が広がる向きに流れる場合を Expansion、直径が小さくなる向きに流れる場合を Shrinkage と呼び区別すると、流速の条件によって Expansion の場合に発生する空力騒音が大きいことが明らかになった。特に、35m/s 以上の流速では卓越周波数成分を有する騒音（ピーク音）が発生し、オーバーオール騒音レベルも大きく上昇することが明らかとなった（五十嵐，松本，2017）。また、卓越周波数は流速にほぼ比例していることが報告されたが、その後の詳細な実験の結果、ロックイン現象と見られる特性が現れたため、本論文では、流速の詳細な変化に対する卓越周波数の変化とパンチングメタル板の固有振動数との関連についてまとめる。管内に垂直に設置した多孔板のロックイン現象については振動板の曲げ振動と管内の圧力変動との関連について調査している例（佐野，1997）（佐野，2004）があるものの、管路での現象であり、パンチングメタル板通過後に開放される流れでないことや板の振動モードについては触れられていないことから、筆者らが検討してきた現象を解明するための知見とは異なる。

そこで本研究では、サイレンサーなどの急拡大部で用いられるパンチングメタル板通過流における騒音増大現象について、流速をより詳細に変化させることでその特徴を明らかにし、発生する卓越周波数音の発生メカニズムについて、パンチングメタル板の振動モードとの関係について検討した結果を報告する。

## 2. 実験装置および実験方法

### 2.1 実験装置

図1に実験装置概略を示す。床寸法 2100×2100mm、高さ 1900mm の内寸を持つ無響室を有する吸い込み式の風洞により実験を行う。風洞は遠心式送風機（昭和送風機社製 AH-1500）により、無響室内部を減圧し、サイレンサーを有する吸い込みダクトから気流を流入させる構造になっている。パンチングメタル板は縮流部先端に取り付けられた導入管（内径 88mm、長さ 700mm のアクリル製パイプ）の先端に、図2のように内径 88mm、外径 140mm、板厚 9mm のアルミ製治具により取り付けられている。パンチングメタル板の開口部は、治具との干渉を抑制するためにテープにより六角形に制限する。縮流部は約 16:1 の面積比になっており、拡大部と縮流部での差圧より導入管への流入流速  $V_a$  を決定する。実験条件はパンチングメタル板の孔一つあたりから流出する孔出口平均流速により定める。孔出口平均流速  $V_h$  は以下の式により算出する。

$$V_h = \frac{A_c V_a}{A_p} \quad (1)$$

ここで、 $A_c$  は導入管断面積、 $V_a$  は導入管への流入流速、 $A_p$  はパンチングメタル板の開口面積である。

図3に、計測系の概要を示す。パンチングメタル板を通過した気流により発生する騒音は、精密騒音計（小野測器製 LA-3560）により計測され、FFT アナライザ（小野測器製 DS-3200）により周波数分析される。マイクロホンは、拡散された噴流による直接的な影響を避けるため、管軸を含む水平平面内で、流れに垂直に 500mm 離れた位置に設置する。導入管管軸は無響室床のメッシュから 1000mm の高さにある。実験では孔出口平均流速を 1m/s 刻みで変化させ、その際に発生する騒音の周波数特性を記録する。次に送風機騒音が大きい 500Hz 未満を省いた 500Hz から 20kHz のパーシャルオーバーオール値を算出し、比較する。500Hz 以下の騒音レベルはいずれの実験条件においても違いがなく、パンチングメタル板の有無によらず同一の特性を示すことを確認している。また、500Hz 以上で機器騒音の計測室への侵入は無響室と吸入側サイレンサーにより 25dB 以下に抑制されている。また、送風機モータの運転周波数によっては 8kHz、12kHz にインバータによる伝送波ノイズが卓越して発生するが、そのピーク以外の暗騒音の影響はない。なお、本実験における環境下では導入管の共鳴音は明確に観測されなかった。

発生する騒音の原因を探るために、吹き出た噴流の速度変動を計測する。速度変動の計測には熱線流速計（カノマックス製）を用いる。計測用プローブはセンサ直径  $5\mu\text{m}$  の I 型標準プローブを用いている。挿入されたプローブから発生する騒音は、対象となる流速条件においてパンチングメタル板から発生する騒音に影響がないことを確認している。計測された速度変動は、FFT アナライザでパワースペクトルを求めるとともに、騒音と速度変動との間のコヒーレンス関数も求める。速度変動のパワースペクトルとコヒーレンス関数を積算することでコヒーレントアウトプットパワーを求め、騒音の発生源の考察に用いた。コヒーレントアウトプットパワーの周波数積分値の空間分布を計測することで、発生騒音の特定の周波数成分と関連の強い速度変動をしている領域を特定することができ (Matsumoto et al., 2003), 騒音の発生源を明らかにできる。

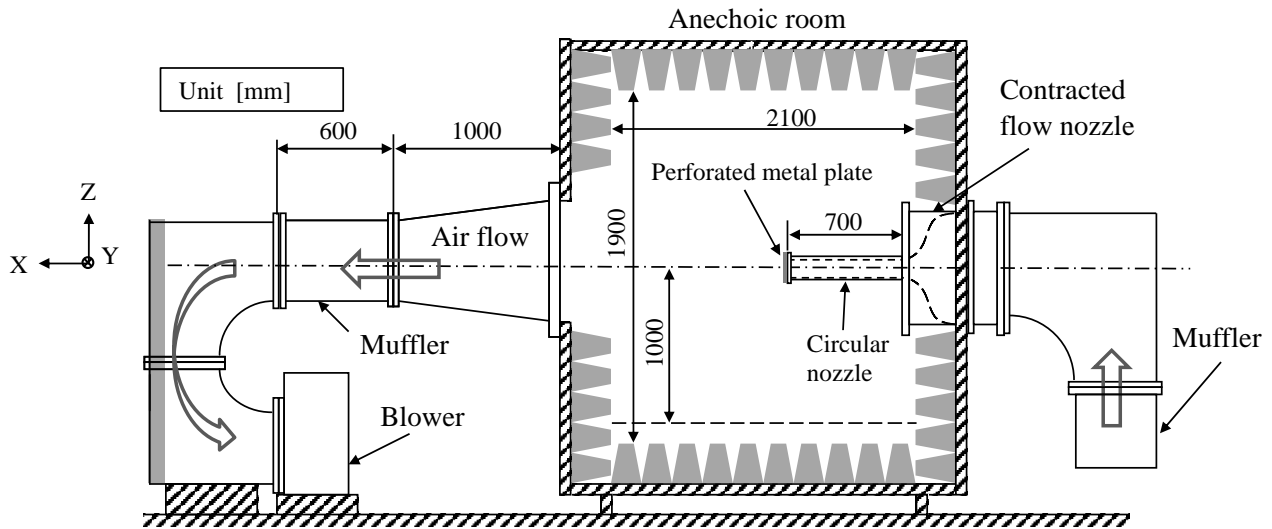


Fig.1 The suction type wind tunnel has anechoic measurement room. The floor size of anechoic room is 2100x2100 mm and room height is 1900mm. The inner diameter of circular nozzle is 88mm.

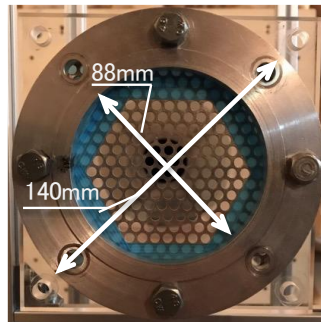


Fig.2 The photo of mounting condition of a perforated metal plate. Opening type is hexagon. The ring jig thickness 9 mm is used to hold the perforated metal plate. Outer diameter is 140mm, inner diameter is 88mm that is the same to the diameter of duct.

## 2・2 パンチングメタル板

図 4 にパンチングメタル板の孔形状を示す。孔は千鳥配列となっており、開口率は約 51%である。パンチングメタル板は呼び径、板厚と素材により区別し、呼び径 3.0mm、板厚 0.5mm、アルミニウム製のものは、D3.0t0.5Alのように表記する。実験ではステンレス製のパンチングメタル板も用いたが、本報告ではアルミニウム製のものの結果を示す。パンチングメタル板は打ち抜き加工されたものを用いるため、打ち抜き方向の前後で実際の孔径が異なることになり、材質により孔の拡大率などが異なることを確認している。図 4 に示すように、下流側に拡大する向きを Expansion、下流側に収縮する向きを Shrinkage と呼ぶ。図 5 にパンチングメタル板の孔部分の写真を示す。拡大側から見た状態では孔部分の断面が見えており、孔が拡大していることがわかる。表 1 に実験に用

いたパンチングメタル板の寸法を示す。パンチングメタル板の呼び径と孔出口平均流速を用いて求めたレイノルズ数は、 $0.24 \times 10^4$  から  $3.3 \times 10^4$  までの範囲である。

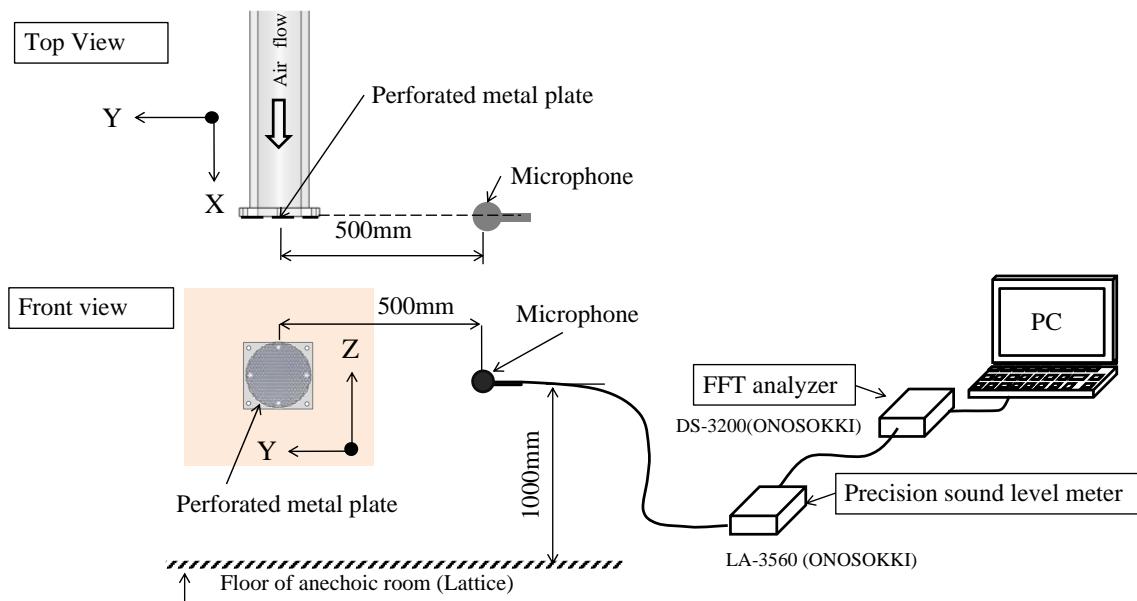


Fig.3 Measurement equipment for generated noise. The microphone is located at 500mm from center point of perforated metal plate on horizontal plane. The height of microphone is 1000mm from floor lattice plate. Precision sound level meter (LA-3560) measures the noise generated from perforated metal plate and the frequency characteristic of noise is analyzed by FFT analyzer (DS-3200) and it is recorded by PC.

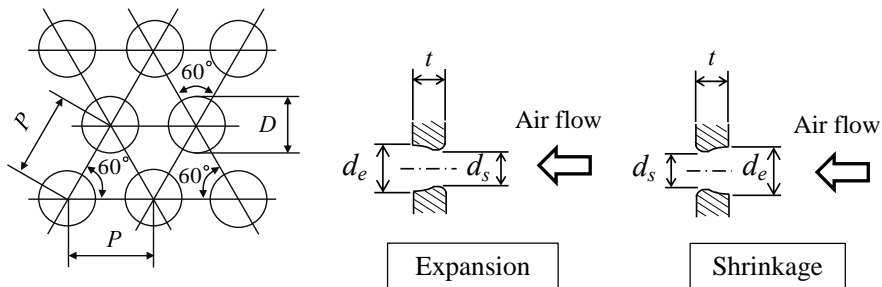


Fig.4 Hole arrangement and cross-sectional view of hole on a perforated metal plate. A cross section of "Expansion type" is expanded toward the downstream. "Shrinkage type" is opposite shape of "Expansion type".

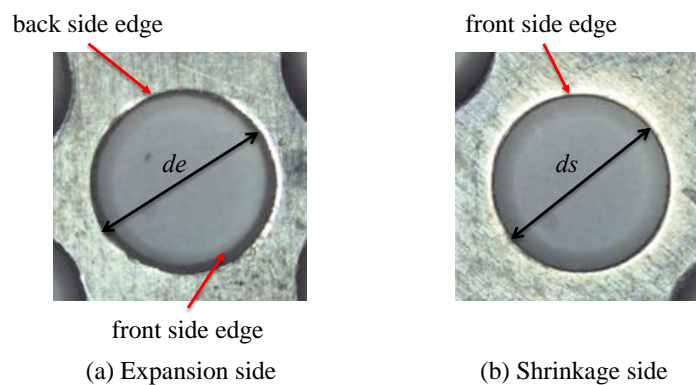


Fig.5 Example photos of hole shape of perforated metal plate. The material is aluminum alloy. The diameter of hole on expansion side is  $d_e=4.74\text{mm}$ , the diameter of hole on shrinkage side is  $d_s=4.43\text{mm}$ .

Table 1 Dimensions of perforated metal plates. The diameter  $d_e$  is a hole diameter on expansion side of the plates, the diameter  $d_s$  is a hole diameter on shrinkage side of the perforated metal plates. The plate thickness is  $t$ . Expansion ratio is defined as  $d_e/d_s$ .

	Nominal Diameter[mm]	Nominal thickness [mm]	$d_e$ [mm]	$d_s$ [mm]	$t$ [mm]	Expansion ratio [-]
D3.0t0.5A1	3.0	0.5	3.00	2.97	0.490	1.01
D4.5t0.5A1	4.5	0.5	4.42	4.41	0.489	1.00
D4.5t2.0A1	4.5	2.0	4.74	4.43	1.982	1.07
D4.5t3.0A1	4.5	3.0	5.08	4.60	2.954	1.10
D9.0t0.5A1	9.0	0.5	9.19	9.19	0.489	1.00
D9.0t2.0A1	9.0	2.0	9.21	8.97	1.970	1.03

### 3. 実験結果

#### 3・1 パーシャルオーバーオール値 (POA 値) の変化

図 6 に, Expansion 型パンチングメタル板から発生する空力騒音の音圧の 500Hz から 20kHz までのパーシャルオーバーオール値の流速に対する変化を示す. 図 7 に Shrinkage 型の結果を示す. Expansion 型, Shrinkage 型ともに, いずれのパンチングメタル板においても流速に対して音圧レベルが増加する傾向があることがわかる. 図 6 を見ると, 板厚  $t=0.5\text{mm}$  の結果は孔径によらずほぼ同じ傾向を示していることがわかる. また板厚  $t=2.0\text{mm}$  で孔径  $D=9.0\text{mm}$  の場合にはそれほど大きな騒音増大は見られないが,  $D=4.5$  の場合には,  $t=2.0, 3.0$  とともに他のパンチングメタル板よりも騒音が増大していることがわかる. 中でも D4.5t2.0A1 の騒音増大が顕著であり, 流速に対して一定割合ではなく, 増減を繰り返すことが明らかとなった. この騒音増大時の周波数特性は, 卓越したピークを有することが明らかとなっていた (五十嵐, 松本, 2017) が, 流速を詳細に変化させることで, 流速に対して増減を繰り返す場合があることが明らかとなった. 次に, 図 7 を見ると, Shrinkage 型の場合においても板厚  $t=0.5\text{mm}$  では, いずれの孔径においてもほぼ同じ傾向となっていることがわかる.  $t=2.0, 3.0\text{mm}$  の場合には,  $t=0.5\text{mm}$  の場合よりも発生音が大きくなっていることがわかるが, Expansion 型に比べると, 最大でも 17dB 程度の増加となっており, 比較的増加量は小さい.

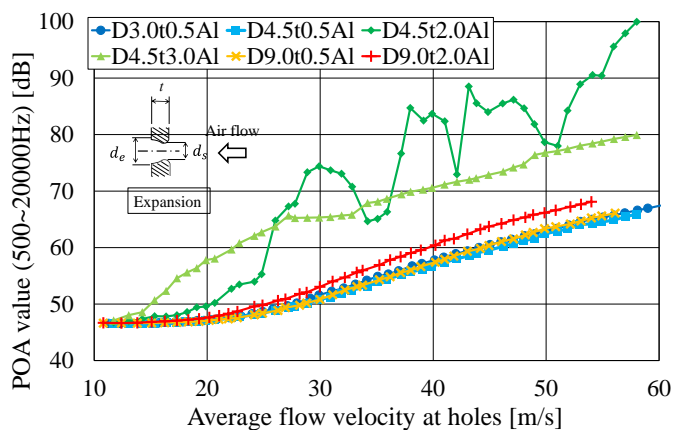


Fig.6 Partial overall value (POA) of aerodynamic noise generated by Expansion type perforated metal plates. In the cases of  $D=4.5$  with thickness  $t=2.0$  and  $3.0$ , the noise increase phenomenon occurs. In the case of  $t=0.5$ , POA values are almost the same.

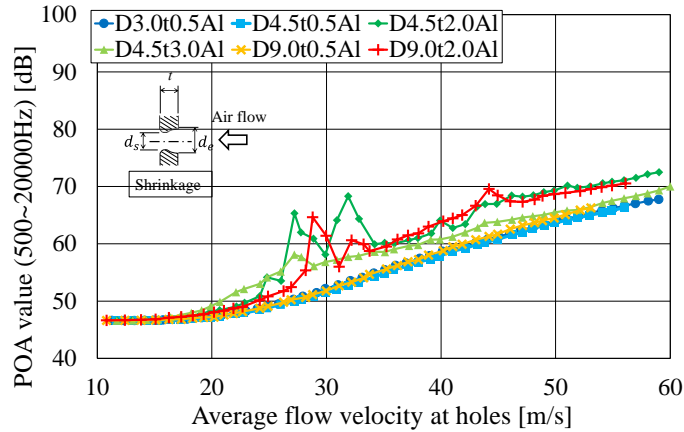


Fig.7 Partial overall value (POA) of aerodynamic noise generated by Shrinkage type perforated metal plates. In the cases of  $D=3.0, 4.5$  and  $9.0$  with thickness  $t=0.5$ , POA values are almost the same value. In the cases of  $t=2.0$  and  $3.0$ , noise increase phenomenon occurs, but the increment values of POA are smaller than those of Expansion type.

図8に、板厚と流れ方向の影響を示すために、 $D=4.5\text{mm}$  の場合のみ比較した図を示す。図8 (a) によると  $t=0.5\text{mm}$  の場合には Expansion 型, Shrinkage 型ともに同じ程度であるが、 $t=3.0\text{mm}$  においては Shrinkage 型よりも Expansion 型の POA 値はいずれの流速においても大きいことがわかる。図8 (b) を見ると  $D4.5t2.0A1$  の Expansion 型の流速に対する変化は他の場合に比べて大きく異なっており、増分もかなり大きいことがわかる。これらの変化の原因を明らかにするために、次節で流速に対する周波数特性の変化を検討する。

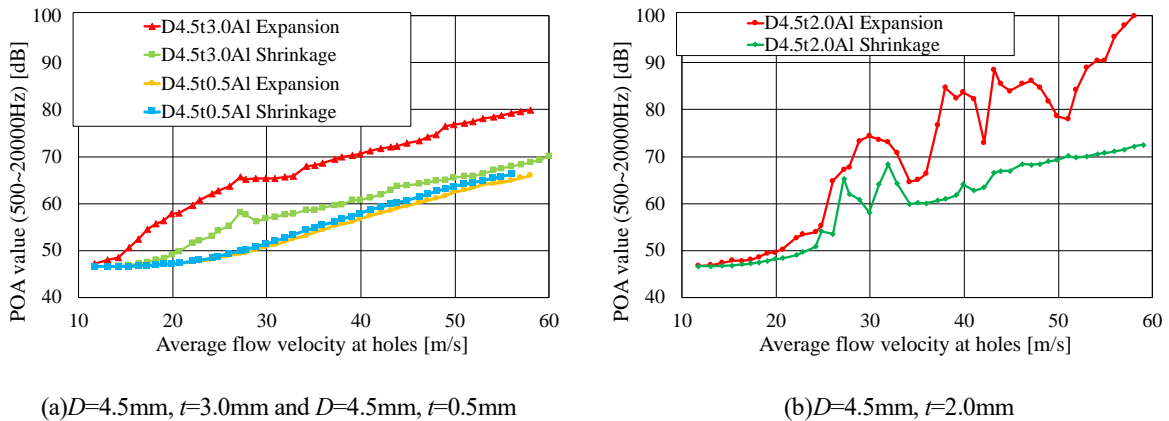


Fig.8 Comparison of flow direction and plate thickness in the case of  $D=4.5\text{mm}$ . In the case of Expansion type, the increment values of POA are larger than Shrinkage type.

### 3・2 発生騒音の周波数特性の変化

図9に流速に対する周波数特性の変化を等高線図により示す。 $t=0.5\text{mm}$  の場合を見ると、等高線図に孔出口平均流速が約  $15\sim 35\text{m/s}$  に渡って  $8\text{kHz}$ 、約  $35\sim 55\text{m/s}$  において  $12\text{kHz}$  にそれぞれ  $35\text{dB}$  程度のレベルの高い部分が、流速に対して一定の周波数で現れているが、これは送風機による伝送波ノイズ騒音であることを確認しており、それ以外には顕著なレベル増加は認められず、周波数全域にわたってレベルが増加していることがわかる。次に、 $t=2.0\text{mm}$  の場合を見ると、 $10\text{m/s}$  から  $30\text{m/s}$  までは  $2\text{kHz}$  から  $6\text{kHz}$  まで流速に比例した卓越周波数成分（ピーク）が発生していることがわかる。さらに流速が高くなると、 $25\text{m/s}\sim 35\text{m/s}$  まで、 $16\text{kHz}$  以上の周波数領域でピーク音が発生し、このピーク音により POA の値が大きくなっていることがわかった。この現象は Shrinkage の場合にも共通する。さらに流速が高くなり、 $35\text{m/s}$  以上になると POA の値が乱高下するが、この速度域では、 $12\text{kHz}$  以上で非常に大きいピークが発生していることが赤いドットにより示されている。このピークは流速に対して階段状に周波数が変化しており、ロックイン現象などに見られる周波数変化（佐野, 1997）と同様な変化が認められる。 $t=3.0$  の場合には  $25\text{m/s}$  程度までは  $1\text{kHz}$  から  $3\text{kHz}$  まで比例的に増加するピークが発生している

が、25m/s 以上になると複数のピークが 10kHz 以上で発生していることがわかる。また、それらの高周波数で発生するピークは流速に対して  $t = 2.0\text{mm}$  の場合ほど階段状ではなく、ほぼ比例的に変化しているように見え、 $t = 2.0\text{mm}$  の場合と異なる発生メカニズムであることが予想できる。

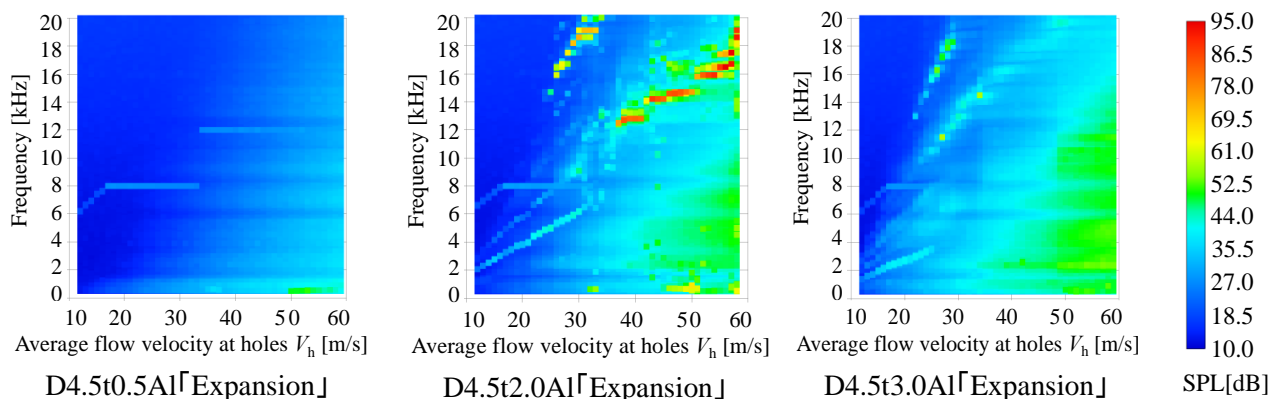


Fig.9 Frequency characteristics of aerodynamic noise generated by Expansion type perforated metal plates ( $D=4.5\text{mm}$ ). Red dots indicate a large noise peak component. The peak varied in a staircase pattern by flow velocity.

図 10 に、D4.5t2.0Al の Expansion 型のパンチングメタル板から発生した空力騒音のパーシャルオーバーオール値と周波数特性を比較した図を示す。黒線で示したパーシャルオーバーオール値の増減は、高周波数のピークの発生とほぼ同期しており、騒音の増大現象を支配しているのは、高周波数におけるピークの発生であることが明らかとなった。このピークの発生原因を明らかにするために、噴流の速度変動分布を計測するとともに、パンチングメタル板の固有振動解析を行い、その関連を検討する。

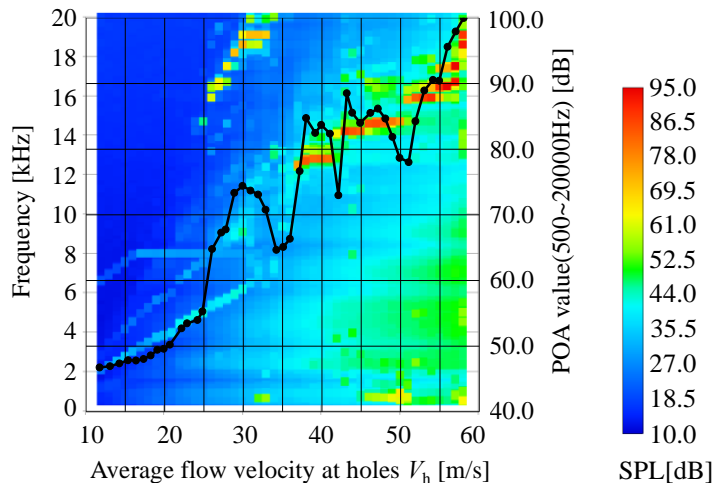


Fig.10 POA value and frequency characteristics of aerodynamic noise generated by D4.5t2.0Al Expansion type perforated metal plate. Variation of POA value is synchronized with peak generation.

### 3・3 高周波数ピークの発生メカニズム

卓越周波数成分を持つ騒音の発生メカニズムを明らかにするために、噴流の速度変動を熱線流速計により計測した。図 11 に計測点を示す。図中赤点は孔部分背後を示し、黒点は板面背後での計測点を示している。計測面は水平面で、導入管中心から外側に向かって 36mm まで 3mm 間隔で、下流方向に 7mm まで 1mm 間隔で計測した。板の振動とのロックイン現象が予想されるため、板の固有振動数解析の結果と比較する。解析の境界条件を簡略化するために、全ての孔を開放した条件で騒音計測を行う。パンチングメタル板は D4.5t2.0Al を用い、孔出口平均流速は 41m/s とし、卓越周波数音が発生する条件とした。図 12 に、この条件での発生音の周波数特性を示す。



発生した卓越周波数騒音の周波数は 13162.5Hz であった。図 12 を見ると、13162.5Hz 以外にも相対的にレベルは小さいがピークがいくつか存在していることがわかる。

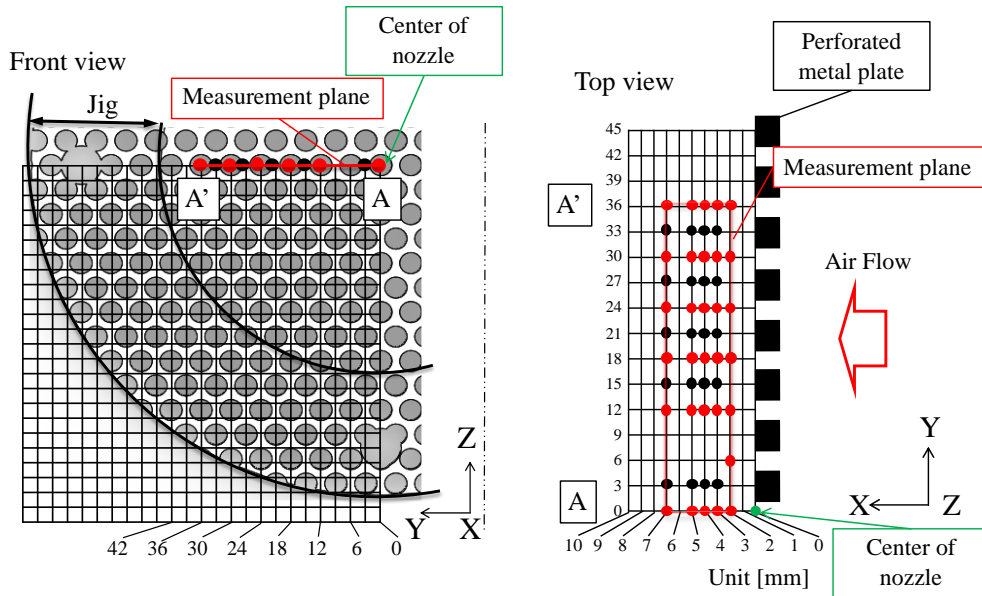


Fig.11 Measurement points for flow fluctuation by hotwire probe. Red points indicate the measurement points behind holes.

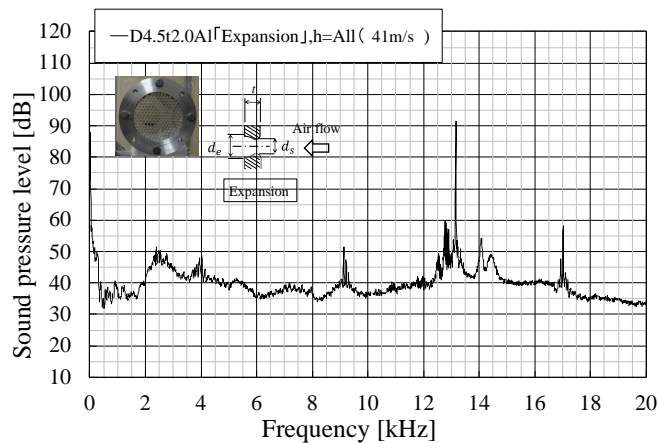


Fig.12 Frequency characteristics of aerodynamic noise generated by perforated metal plate in all open condition. The prominent peak appeared at 13162Hz.

最大のピークレベルを有する 13162.5Hz の卓越周波数音が発生する領域を明らかにするために、パンチングメタル板後方の速度変動のパワースペクトルと騒音とのコヒーレンス関数の積であるコヒーレントアウトプットパワー (COP) を求め、12500 から 13550Hz で積分した値の分布により評価する。COP の積分値が大きい場合、発生した騒音と関連の強い速度変動が生じていることを示す。図 13 に COP の積分値の分布を示す。パンチングメタル板後流の速度変動の周波数特性は、複数のピークが認められたが、騒音との関連度を示すコヒーレンス関数と速度変動のパワースペクトルをかけるため、発生音に関連のない速度変動のピークは除去される。さらに 13kHz 付近の積分値を求めるため、13kHz 付近の騒音と関連のある速度変動のパワーを求めたこととなり、卓越周波数音が発生する領域を示すことになる。図 13 を見ると、Y=24mm 周辺において大きい値を示しており、導尿管中心部分、すなわちパンチングメタル板中心部分ではピーク音と関連の強い速度変動は観測されていないことがわかる。この理由についてパンチングメタル板の固有振動モードとの関係から考察する。

図 10 に示した通り，検討対象のピーク周波数は，流速に対して階段状に変化するため，ロックイン現象となっていることが推測される．発生音と関連の強い速度変動はパンチングメタル板の特定の点の背後で観測されており，板の振動との関連を検討する．

パンチングメタル板の固有モードは SOLIDWORKS Simulation 2014 によって解析した．解析モデルは，実験に用いたアルミニウム製パンチングメタル板と同一の大きさの孔あき円板とし，素材ヤング率 69GPa，密度 2705kg/m<sup>3</sup>，ポアソン比 0.33 とした．小孔の軸方向半径変化は無視し，表裏で同一の直径の孔としてモデル化した．メッシュは線形四面体要素で，要素サイズは最大 0.4mm として設定し，総要素数は 1665353 となった．境界条件は，実験におけるジグ部分をローラー固定として，面内方向は摩擦なし，面外方向変位は拘束した．さらに，パンチングメタル板の外周の断面を固定条件とした．図 14 に解析結果として，固有振動数と固有モードを示す．解析の結果，発生音に近い 12026Hz，14534Hz に固有振動数を持つことが明らかとなった．ピーク音と関連があるモードは 8 次，もしくは 9 次と考えられ，いずれも板の中央部分には節になっていることがわかる．図 13 より，振動モードの腹の位置と COP の積分値が大きい位置はほぼ一致し，板の振動と発生した騒音との関連が強いと思われる．このことから，パンチングメタル板を貫流する気流により発生したピーク音は，比較的高次モードの板の振動に関連を持っていると考えられる．また，流速上昇に対してピーク周波数は階段状に上昇していたことから，渦の流出と板の振動はロックインしていたと考えられる．さらに，ピーク音の発生現象は Expansion 型で主に現れており，Shrinkage 型ではわずかしか現れない．板の固有振動数は両者で同じであるため，ピーク音の主な原因は，Expansion 型で流出する渦によるロックイン現象によるものだと考えられる．しかしながら，このロックイン現象の詳細なメカニズムについてはいくつかの疑問がある．小孔はパンチングメタル板全面に均等に分布しており，均等な渦流出があるものと考えられるが，ある領域のみがロックインする理由が不明確である．さらに，図 12 のグラフを見ると，2 次，5 次，6 次など低次モードについても固有振動数と関連したピークが見られるが，13kHz のピークよりも音圧レベルが小さく，選択的に 13kHz が卓越するメカニズムについて説明できない．これらの点の詳細な説明は，今後の課題としたい．

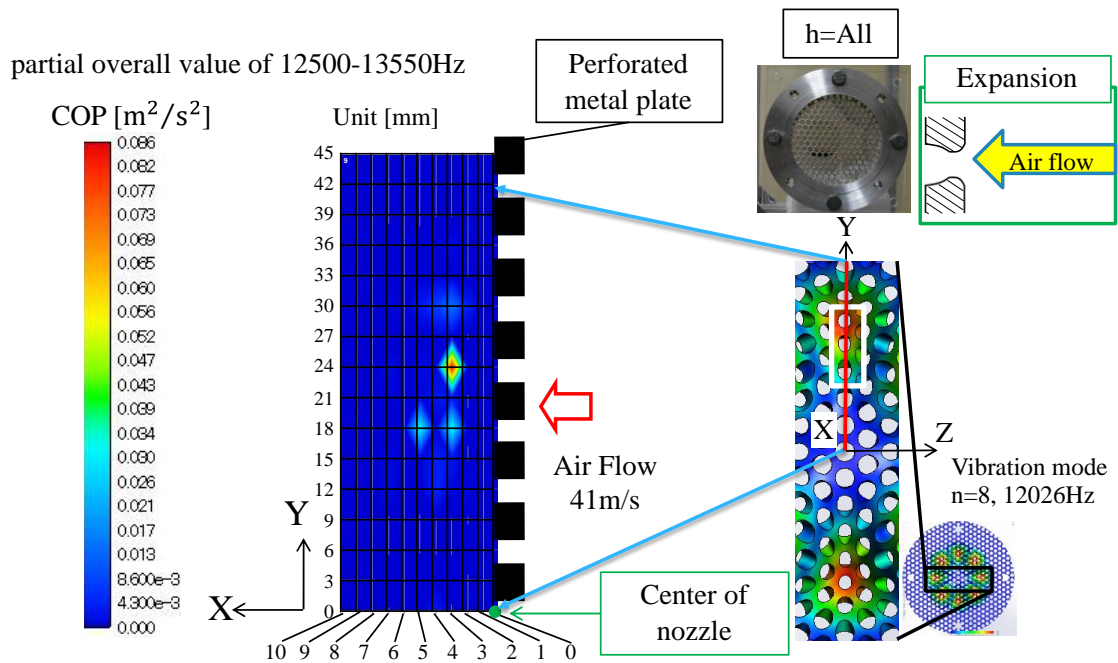


Fig.13 Distribution of partial overall value of COP (12500 - 13550Hz). High COP value is measured at X=3, Y=24. This point is a behind point of the antinode point of 8th vibration mode of perforated metal plate.

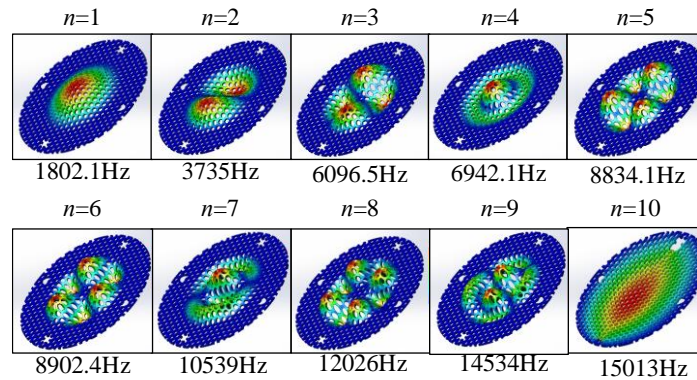


Fig.14 Vibration mode of perforated metal plate ( $D=4.5\text{mm}$ ,  $t=2.0\text{mm}$ , Aluminum metal).

#### 4. 結 言

パンチングメタル板を通過する気流による騒音増大現象について実験的な検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) Expansion 型, Shrinkage 型ともに流速に対して騒音は増加した。
- (2) Expansion 型で板厚が厚くなると、薄い場合に比べて騒音が増大し、特定の板厚でかなり強い騒音が発生した。
- (3) 騒音が増大する場合には卓越周波数成分を持つ周波数特性となった。
- (4) 卓越周波数成分の騒音（ピーク音）は、孔径  $D=4.5\text{mm}$ 、板厚  $t=2.0\text{mm}$  の場合には、流速に対して階段状に増加し、ロックイン現象が予想された。
- (5) 階段状に変化するピーク音の周波数は、FEM 解析によるパンチングメタル板の固有振動数に近いことが明らかとなった。
- (6) 発生音と関連の強い後流の速度変動分布をコヒーレントアウトプットパワー（COP）の積分値で求めると、パンチングメタル板の固有モードと関連した分布となった。

以上より、騒音増大現象は、Expansion 型の場合に顕著に起こり、その主な原因は、パンチングメタル板の固有振動数と、COP 計測結果より、パンチングメタル板から流出する渦とパンチングメタル板とのロックイン現象であると予想したが、そのロックイン現象の詳細説明については今後の課題となっている。

#### 謝 辞

本研究における実験装置の製作には、室蘭工業大学大学院修了の吉井秀典君、宮野裕史君の多大なる貢献があった。ここに謝意を表す。

#### 文 献

- 五十嵐聡，松本大樹，打ち抜き加工された小孔の配列と通気向きにより変化する空力騒音，日本機械学会機械力学計測制御部門講演会 D&D2017(2017)，paper No.125.
- 岩佐真，門久義，藤原良樹，細川欽延，小松寿夫，パンチングメタルの抵抗特性，空気調和・衛生工学会論文集，No.34 (1987)，pp.81-89.
- 大久保精二，幕田宏，藤田勝久，多孔板の流体励起振動（渦の発生メカニズムと周波数に関する実験研究），日本機械学会論文集 B 編，Vol.54，No.503(1988)，pp.1633-1636.
- 奥井健一，三上房男，山根隆一郎，竹越栄俊，オリフィスを持つ管内における自励振動流（第 1 報：振動周波数），ターボ機械，Vol.20，No.10(1992)，pp.636-641.
- 奥井健一，山根隆一郎，三上房男，竹越栄俊，オリフィスを持つ管内における自励振動流（第 2 報：流れの可視化），ターボ機械，Vol.21，No.2(1993)，pp.87-91.
- 佐野勝志，管内多孔板からの渦放出に伴う圧力脈動（ロックイン現象に関する因子），日本機械学会論文集 C

- 編, Vol.63, No.610(1997), pp.1869-1874.
- 佐野勝志, 管内多孔板からの渦放出に伴う圧力脈動 (ロックイン現象振動数について), 日本機械学会論文集 C 編, Vol.70, No.692(2004), pp.949-955.
- 高倉秀一, 青木大明, 石川幸男, 建物周辺における風切り音に関する実験的研究 その4パンチングメタルの風切り音について, 日本建築学会大会学術講演梗概集(1999), pp.259-260.
- Matsumoto, H., Nishida, K. and Saitoh, K., Characteristics of aerodynamic sound sources generated by coiled wires in a uniform air-flow, *Journal of Fluids and Structures*, Vol.18(2003), pp759-770.
- 宮野裕史, 吉井秀典, 松本大樹, 円形ノズル端に取り付けたパンチングメタルから発生する空力音, 日本機械学会第91期流体工学部門講演会講演論文集(2013), paper No.1108.

## References

- Igarashi, H. and Matsumoto, H., Aerodynamic noise generated from punched small holes at changing arrangement of holes and direction of air flow, *Proceedings of Dynamics and Design Conference 2017*(2017), paper No.125 (in Japanese) .
- Iwasa, M., Kado, H., Fujiwara, Y., Hosokawa, Y. and Komatsu, T., Aerodynamic characteristics of punching-metal, *The society of heating, air-conditioning sanitary engineering of Japan*, No.34(1987), pp.81-89 (in Japanese) .
- Matsumoto, H., Nishida, K. and Saitoh, K., Characteristics of aerodynamic sound sources generated by coiled wires in a uniform air-flow, *Journal of Fluids and Structures*, Vol.18(2003), pp759-770.
- Miyano, H., Yoshii, H. and Matsumoto, H., Aerodynamic sound generated from perforated metal attached to the end of circular nozzle, *Proceedings of 91th JSME Fluid Engineering Division Conference (2013)*, paper No.1108 (in Japanese) .
- Ohkubo, S., Makuta, H. and Fujita, K., Flow-Induced vibration of a perforated plate (An experimental study on the mechanism and frequency of ring vortex shedding from an orifice, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.54, No.503(1988) (in Japanese) .
- Okui, K., Mikami, F., Yamane, R. and Takekoshi, E., Self-oscillating flow in a pipe with an orifice (Part 1: vibration frequency), *Turbomachinery*, Vol.20, No.10(1992), pp.636-641 (in Japanese) .
- Okui, K., Yamane, R., Mikami, F. and Takekoshi, E. , Self-oscillating flow in a pipe with an orifice (Part 2: flow visualization), *Turbomachinery*, Vol.21, No.2(1993), pp.87-91 (in Japanese) .
- Sano, K., Pressure pulsation caused by vortex shedding from a perforated plate with some holes (Effects of parameters on lock-in phenomenon), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.63, No.610(1997), pp.1869-1874 (in Japanese) .
- Sano, K., Pressure Pulsation caused by vortex shedding from a perforated plate (Discussions of lock-in frequencies), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.70, No.692(2004), pp.949-955 (in Japanese) .
- Takakura, S., Aoki, T. and Ishikawa, Y., Experimental study on wind noise around building Part 4 wind noise of punched-metal, *Proceedings of Architectural Institute of Japan*(1999), pp.259-260 (in Japanese) .