

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2009年1月15日 (15.01.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/008478 A1

- (51) 国際特許分類:
G01H 3/00 (2006.01) G01H 9/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/062485
- (22) 国際出願日: 2008年7月10日 (10.07.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2007-181146 2007年7月10日 (10.07.2007) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人群馬大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION GUNMA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒3710044 群馬県前橋市荒牧町四丁目2番地 Gunma (JP). 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) [JP/JP]; 〒1828522 東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 荒木 幹也

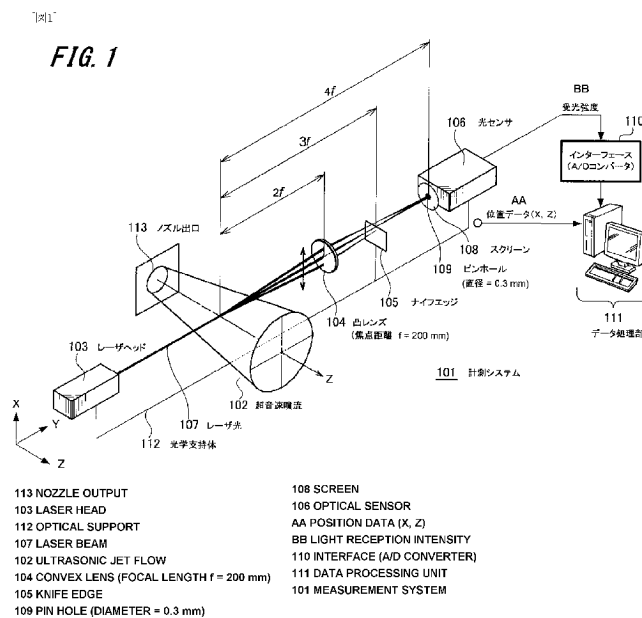
(ARAKI, Mikiya) [JP/JP]; 〒3760052 群馬県桐生市天神町1丁目5番1号 国立大学法人群馬大学内 Gunma (JP). 曾根 祐輔 (SONE, Yusuke) [JP/JP]; 〒3760052 群馬県桐生市天神町1丁目5番1号 国立大学法人群馬大学内 Gunma (JP). 小島 孝之 (KOJIMA, Takayuki) [JP/JP]; 〒1828522 東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1 独立行政法人宇宙航空研究開発機構内 Tokyo (JP). 田口 秀之 (TAGUCHI, Hideyuki) [JP/JP]; 〒1828522 東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1 独立行政法人宇宙航空研究開発機構内 Tokyo (JP). 志賀 聖一 (SHIGA, Seiichi) [JP/JP]; 〒3760052 群馬県桐生市天神町1丁目5番1号 国立大学法人群馬大学内 Gunma (JP). 小保方 富夫 (OBOKATA, Tomio) [JP/JP]; 〒3760052 群馬県桐生市天神町1丁目5番1号 国立大学法人群馬大学内 Gunma (JP).

(74) 代理人: 角田 芳末, 外 (TSUNODA, Yoshisue et al.); 〒1510073 東京都渋谷区笹塚1-6-4-8 笹塚サウスビル Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: ACOUSTIC MEASUREMENT DEVICE AND ACOUSTIC MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 音響計測装置及び音響計測方法



(57) Abstract: It is possible to realize a measurement system for accurately detecting a position of a sound source of a jet noise (screech) generated by a jet flow of a jet engine. High speed sampling is performed by applying a laser light into a jet flow and its surrounding by the schlieren optics and using a high speed optical sensor while shifting a measurement point. The value obtained by sampling is a result of the optical path curved by a density gradient generated in the arc-shape from the center of the jet air current. The value is subjected to a high-speed Fourier transform and decomposed into frequency components constituting the noise. After this, data belonging to a particular frequency is subjected to Abel transform so as to obtain a density gradient in the radial direction from the center of the jet air current. The obtained density gradient is visualized in a graph display so as to accurately know the position of the sound source and the state of the air current.

[続葉有]



WO 2009/008478 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,

SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: ジェットエンジンの噴流によって生じるジェット騒音 (スクリーチ) の音源位置を正確に把握するための計測システムを実現する。シュリーレン光学系にて、ジェット噴流中ならびにその周囲にレーザー光を通過させ、高速光センサを用いて、計測点をずらしながら高速サンプリングを行う。サンプリングで取得した値はジェット気流の中心から円弧状に生じる密度勾配によって光路が曲げられた結果である。この値を高速離散フーリエ変換して、騒音を構成する周波数成分に分解する。その後、特定の周波数に属するデータについてアーベル変換を施し、ジェット気流の中心から半径方向の密度勾配を得る。得られた密度勾配をグラフ表示で可視化すると、音源の位置や気流の状態を精緻に把握できる。

明 細 書

音響計測装置及び音響計測方法

技術分野

- [0001] 本発明は、音響計測方法に適用して好適な技術に関する。
より詳細には、ジェット気流が生じる騒音を非接触にて計測する技術に関する。

背景技術

- [0002] 次世代超音速旅客機開発において、ジェットエンジンの排気によって生じる騒音(「ジェット騒音」或は「噴流騒音」と呼ばれる。)を低減することは、大きな課題の一つである。ジェットエンジンの噴流は、周囲の静止気体とせん断を生じ、その境界領域(せん断層、混合層と呼ばれる。)上に強い気流の乱れを生じる。たとえば超音速噴流の場合であれば、この境界領域上の気流の乱れから、スクリーチ(screech:金切り声の意。特定周波数に現れるきわめて強いピーク騒音のこと。航空機等の業界ではこのようなジェット騒音を「ジェットスクリーチ」又は単に「スクリーチ」と呼ぶ。)が発生する。またスクリーチとともに、様々な周波数の音を含むブロードバンドノイズ(広帯域騒音と呼ばれる。)が現れる。スクリーチは、非常に狭い周波数域に大きなエネルギーが集中するため発生するもので、騒音問題のみならず機体の破損にもつながり、大きな問題となっている(非特許文献1参照)。
- [0003] ジェットスクリーチならびにブロードバンドノイズのような騒音を低減するために、従来様々な取り組みがなされている。ジェット気流の解析(非特許文献2及び3参照)、ジェットエンジンのノズル出口にタブと呼ばれる突起を設けてスクリーチを抑制する方法(非特許文献4、5及び6参照)、物理的なタブの代わりに、ノズル壁面から小さな噴流を噴射する「空力タブ」を設けてスクリーチを抑制する方法(非特許文献8、9及び10参照)等が行われている。
- [0004] 非特許文献1:Raman, G., J. Sound and Vibration, 225-3 (1999), 543-571.
非特許文献2:Powell, A. et al., J. Acoust. Soc. Am., 92-5 (1992), 2823-2836.
非特許文献3:Umeda, Y. and Ishii, R., Int. J. Aeroacoustics, 1-4 (2002), 355-384.
非特許文献4:Ahuja, K. K. and Brown, W. H., AIAA paper 89-0994.

非特許文献5:Samimy, M. et al., AIAA Journal, 31-4 (1993), 609-619.

非特許文献6:Kobayashi, H. et al., ASME NCA, Acoustic Radiation and Wave Propagation, 17 (1994), 149-163.

非特許文献7:Outa, E. et al., Proceedings of the 16th Int. Symposium on Airbreathing Engines (ISABE 2003), CD-Rom, AIAA.

非特許文献8:荒木幹也他, 日本機械学会論文集(B編), 71-707,(2005), 1798-1805

非特許文献9:Araki, M. et al., AIAA Journal, 44-2 (2006), pp. 408-411.

非特許文献10:荒木幹也他, 日本機械学会論文集(B編), 73-726,(2007), 567-574.

非特許文献11:Suda, M. et al., AIAA Paper 93-4323.

非特許文献12:浅沼強,流れの可視化ハンドブック,(1977), 朝倉書店, 東京, pp. 328-341.

非特許文献13:矢尾板昭, Abel変換の数値計算法, 電子技術総合研究所調査報告、通商産業省, 172 (1971), pp. 1-32.

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] ジェットエンジンの推進力を極力減らすことなく、ジェットエンジンの噴流がもたらす騒音を低減するためのデバイスを開発するためには、その前提として騒音源の位置と規模の正確な把握が必要である。何処から音が出てくるのか判らない状態では、その音を減らすための道具が作れないことは明らかである。

前述の空力タブのような騒音低減デバイスが、騒音源の振る舞いに及ぼす影響を直接的に可視化することができれば、理想的である。しかしながら、スクリーチやブロードバンドノイズのような噴流騒音の場合、騒音源は噴流の内側にある。このため、マイクロフォンなどの接触測定法では、噴流がマイクロフォンと干渉する際の風切り音に阻まれるため、騒音の計測が困難である。

[0006] 本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、亜音速から超音速の幅広い速度のジェットエンジンの噴流がもたらす騒音を、非接触にて精緻に計測する方法、またそのための計測装置を提供することを目的とする。

[課題を解決するための手段]

[0007] 上記課題を解決するための本発明は、光学系を用いて、気流中に光を通過させる。その光の輝度を電気信号に変換し、インターフェースを用いて所定のサンプリング周波数にてサンプリングして、デジタルの輝度データに変換する。

得られた輝度データを前記レーザ光の輝度変動の計測位置情報に係るデータとして一旦記憶した後、フーリエ変換部にて周波数成分情報と振幅データに変換する。

これらを計測位置情報に係るデータとして一旦記憶し、解析対象周波数選択部にて所望の周波数の振幅データを選択した後、アーベル変換部にて、気流の中心からの半径方向位置における前記気流中の密度勾配の情報に変換する。

これらを一旦記憶した後、表示処理部とディスプレイにて可視化処理する、音響計測装置に係るものである。

[0008] ジェットエンジンの噴流中を通過する光の輝度変動を計測するには、CCDカメラ等のデバイスでは、速度が追いつかない。そこで、高速光センサで輝度信号をサンプル処理をして、輝度データを得る。これを周波数展開した後、所望の周波数成分についての振幅データに対してアーベル変換を行う。

[発明の効果]

[0009] 本発明により、亜音速から超音速の幅広い速度のジェットエンジンの噴流がもたらす騒音を、非接触にて精緻に計測し、かつ超音速噴流の騒音解析において、騒音の特定の周波数成分について精緻な解析が可能な、音響計測装置及び音響計測方法を提供できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の一実施の形態による超音速噴流音響計測システムの概略図である。

[図2]実際に実験に用いた超音速噴流音響計測プローブの概略図である。

[図3]計測システムのうち、データ処理系の機能ブロック図である。

[図4]本実施形態の計測のモデルを説明する概略図である。

[図5]本実施形態の原理を説明する概略図である。

[図6]超音速噴流の所定位置における噴流騒音ならびに輝度変動の周波数分布である。

[図7]超音速噴流によって生じる輝度変動の周波数分布である。

[図8]スクリーチ周波数において、超音速噴流の半径方向位置における、レーザ光の輝度振幅と、密度振幅のグラフである。

[図9]アーベル変換によって再構成された、超音速噴流の密度振幅断層像と、連続シュリーレン像である。

[図10]アーベル変換によって再構成された、超音速噴流の密度振幅断層像と、瞬間ミー散乱像である。

発明を実施するための最良の形態

[0011] 以下、本発明の実施の形態を、図1～図10を参照して説明する。

[0012] 図1は、本実施の形態の例である、超音速噴流音響計測システム(以下「計測システム」)101の概略図である。

気体中を伝わる音は気体の圧力(気圧)変動であり、同時に気体の密度変動でもある。

本計測システム101は、シュリーレン光学系を用いて、ジェットエンジンの噴流(気体)によって生じる騒音、すなわち噴流の密度変動を、噴流に光を通過させてその光の輝度を計測する。そして、得られた輝度変動のデータを噴流の密度勾配すなわち密度変動(騒音)に変換するものである。

計測システム101は、音響計測対象である超音速噴流102に近接配置され噴流102を通過する光の輝度変動を計測する光学系と、光学系によって得られた輝度変動計測値を噴流102の密度変動値に変換処理するデータ処理系に分けられる。

[0013] 図1の光学系は、レーザ光107を出射するレーザヘッド103と、集光部ともいえる凸レンズ104と、レーザ光107の一部を遮光するナイフエッジ105と、光センサ106よりなる。これらはレーザ光107を用いた一種のシュリーレン光学系を構成する。このシュリーレン光学系は、噴流102の密度変動を検出する。

実際の実験に用いた光学系は、配置の都合上、図2に示すように凹面鏡204を用いて光路を折りたたんでいる。図1では簡単のため、光路を等価的に直線上に展開した状態で説明する。

[0014] レーザヘッド103はヘリウムネオンレーザ装置である。但し、これに限定されるもの

ではない。平行な光を出力できればよいので、光ディスク装置に用いるような一般的な半導体レーザーでも構わない。実験に用いた光学系には、連続発振He-Neレーザー(シグマ光機社製05-LHR-151)を用いた。波長は632.8nmである。レーザー光107の直径は約0.8mmである。

実験では、レーザーヘッド103から発されたレーザー光107を、超音速噴流102内部、又はその周囲に通過させる。

[0015] 凸レンズ104は、レーザー光107を収束するためのものである。超音速噴流102通過後400mmの位置に、焦点距離 $f=200\text{mm}$ の凸レンズ104(実験では凹面鏡204を使用)を設置する。レーザー光107は、凸レンズ104通過後200mmの位置で焦点を結ぶ。凸レンズ104の焦点距離は、 $f=200\text{mm}$ に限るものではなく、必要とされる感度に応じて適宜変更可能である。

[0016] レーザー光107は、光路上に存在する、超音速噴流102それ自身の、あるいは超音速噴流102から発せられる音波によって生じる密度勾配によって屈折する。レーザー光107の屈折の原理は蜃気楼と同じである。つまり、噴流の密度の差、すなわち密度勾配による屈折率の変化によって屈折する。超音速噴流102の屈折率の変化は、レーザー光107の屈折角の変化となって現れる。

レーザー光107が屈折すると、焦点の位置は移動する。勿論、噴流102の密度勾配が一定の状態である訳がないので、レーザー光107の焦点の位置は周期的に振動する。ちょうど、レーザー光107がレコードプレーヤの針の役目をしているものと考えてよい。この屈折の原理の詳細については、図5にて後述する。

[0017] レーザー光107の焦点の位置は、図1ではX-Z平面上を移動する。凸レンズ104は変動しないので、レーザーヘッド103からY軸方向の焦点距離は変動しない。

この、レーザー光107が屈折していない状態の焦点が位置するX-Z平面上に、ナイフエッジ105を、焦点(ビームスポット)の半分程度を隠すように設置する。

ナイフエッジ105を上述のようにレーザー光107が発するレーザー光の光路上に設けると、レーザー光107の光路上にある超音速噴流102がもたらす屈折角の変化によって生じるレーザー光107の焦点の移動を、レーザー光107の輝度の変化として捉えることができる。

そこで、輝度に変化するレーザ光107を、光センサ106で受光し、電気信号(輝度信号)に変換する。

なお、レーザ光107は、密度勾配の方向(密度が高くなる方向)と同一方向に屈折する。

[0018] ナイフエッジ105は、レーザ光107の焦点が存在するX-Z平面上に形成されるビームスポットを半分隠す位置であれば、ビームスポットに対して垂直方向、あるいは斜め方向に設置してもかまわない。つまり、ナイフエッジ105の設置方向により、検出される密度変動の方向(指向性)を選択することができる。また、ナイフエッジの代わりに円形のビームストップ、あるいは円形のピンホールを用いれば、あらゆる方向の密度変動(音波)の検出が可能となる。これらの遮光手法は、シュリーレン法の派生型として周知である。

[0019] レーザ光107の光路上に配置されているナイフエッジ105の更に先には、光センサ106が設けられる。光センサ106は、入射したレーザ光107の受光強度を電気信号に変換する。

より具体的には、ナイフエッジ105通過後の200mmの位置にスクリーン108を設置し、シュリーレン像(輝度の不均一な像)を投影する。スクリーン108には、直径0.3mmのピンホール109を設ける。ピンホール109によってレーザ光107の一部のみを通過させることで、測定領域を限定する。ピンホール109の直径は、そのまま空間分解能に対応する。必要とされる空間分解能に応じて、ピンホールの直径は適宜変更可能である。ピンホール109を通過したレーザ光107は、高速光センサである光センサ106(浜松ホトニクス社製S3071)に入射され、その輝度が検出される。なお、凸レンズ104の焦点距離 f を変更することで、光学系の感度を変更することが可能である。

[0020] データ処理系は、光センサ106が出力する輝度信号から輝度のデータを生成するインターフェース110と、このインターフェース110に接続されるデータ処理部111よりなる。また、データ処理部111には後述する輝度変動計測点の位置情報も入力される。なお、輝度変動計測点の位置情報の入力方法は任意である。キーボード等を用いる手動入力であってもよいし、所定のセンサを光学支持体112に設けてもよい。

[0021] インターフェース110は周知のA/Dコンバータである。

データ処理部111は、インターフェース110から得た輝度データを蓄積し、所定の処理を行う。図1では一例として輝度データの収集と輝度データの解析を兼用するパソコンを接続している。なお、輝度データを収集する手段は、パソコンの代わりにデジタルオシロスコープ等を用いてもよい。データ処理部111の詳細は後述する。

[0022] レーザ光107の輝度の計測は、光学支持体112を超音速噴流102に対してX-Z平面上に移動させながら、輝度変動計測点毎に、所定時間、光センサ106にて輝度を計測し、輝度データを収集する。したがって、レーザヘッド103、凸レンズ104、ナイフエッジ105、スクリーン108上のピンホール109及び光センサ106の位置関係は、光学支持体112によって常に固定的に維持されていなければならない。

図1の構成、すなわちレーザ光107が地面と水平に通る状態では、光学支持体112を構成することがやや難しい。そこで、レーザ光107が地面と垂直になるような状態で計測ができるように、光学支持体112を構成したものが、図2に示す超音速噴流音響計測プローブである。

[0023] 図2は、実際に実験に用いた超音速噴流音響計測プローブ(以下、「計測プローブ」)201の概略図である。

四角形状の支持枠202のほぼ中心に超音速噴流102を流し、支持枠202の上部枠202Aにレーザヘッド103を設ける。

支持枠202の下部枠202Bに鏡203を配し、直角にレーザ光107を反射させる。

鏡203によって反射されたレーザ光107の先にある下部枠202Bの縁に、集光部ともいえる凹面鏡204を設けて、レーザ光107を反射しつつ収束させる。

焦点位置にはナイフエッジ105を設ける。

更にナイフエッジ105の先には光センサ106を設ける。

[0024] 光学系は超音速噴流102の気流とは直角の面(図2中のX-Z平面)にて移動させて計測を行わなければならない。

図2の計測プローブ201は、X-Z平面が地面と平行な面になる。計測プローブ201を地面と平行な面上にて移動させることにより、容易にX-Z平面上における計測位置の変更が可能である。

逆に、図1の装置をそのまま再現しようとすると、光学系を鉛直方向に移動させなけ

ればならないので、装置が大掛かりになり、また不安定になり易い。

[0025] 図3は、計測システム101のうち、データ処理系の機能ブロック図である。

インターフェース110は、光センサ106が出力する信号をデジタル値の輝度データに変換する。この際、インターフェース110には、光センサ106からデータを取得するためのサンプルクロック303が供給されている。

輝度データは計測点の位置情報と共に第1記憶部302に蓄積される。

第1記憶部302に蓄積されるデータは、「XZ位置(X-Z平面内の位置情報)」、「サンプリング時間」及び「輝度値」である。

一例として、あるXZ位置について、500kHzのサンプリング周波数で、8192個の輝度のサンプルを採る実験を150回行う。X方向には0.5mm間隔で30計測点、すなわち15mmの範囲についてサンプリングを行う。Z方向には2mm間隔で39計測点、すなわち78mmの範囲についてサンプリングを行う。

[0026] 前述のサンプリングについて詳述する。

図4(a)、(b)及び(c)は、本実施形態の計測のモデルを説明する概略図である。

図4(a)は、図1に示した計測システム101の光学系を抜粋したものである。

図4(a)中、ノズル出口113から超音速噴流102を縦に割る、垂直な平面Pを仮想的に設ける。

この平面Pを通過するレーザ光107を計測点とする。

図4(b)は、平面Pをレーザヘッド103側から見た図である。

一つ一つの点が、計測点402である。

図4(c)は、各計測点402について輝度の計測を行った結果、得られる輝度データの一部を示す。

光センサ106は光の強弱を信号として取り出す。

計測点402毎に、500kHzのサンプリングクロックで、8192個の輝度データを取得する。

すると、PCM変調したデジタルデータを得ることができる。

もともと、得られるデータは脈流で、DC成分を含んでいるので、フーリエ変換を行う

前に、DCオフセットを除去する処理が必要になる。

[0027] 図3に戻って説明を続ける。

次に、第1記憶部302から蓄積された輝度データを取り出し、フーリエ変換部304にて処理を行う。前述の通り、各計測点402における8192個の輝度データの150回分の全てを、FFT(Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換)にて変換処理する。こうして、計測点402毎に、輝度データ群によって形成される時間軸上の変化を周波数成分に変換したデータが得られる。FFTの性質上、入力サンプル数と出力周波数成分の数が等しい。すなわち、本実施形態に係る実験の場合、8192個のサンプルデータを入力すると、8192個の周波数成分データが得られる。ただし、サンプリング定理から、実際には周波数の低い方から8192個のうちの半分、4096番目の周波数データまでが有効となる。

その後、平均演算部305にて、各計測点402の150回分の周波数成分データの平均値を得る。この処理は、周波数変換の精度を上げるための処理である。

得られた周波数成分データは、第2記憶部306に蓄積される。蓄積されるデータは、「XZ位置」、「周波数」及び「輝度振幅値」である。

[0028] この時点で、各計測点402についてグラフを描くと、図6(b)に示すような形状の周波数分布を示すグラフが得られる。なお、図6(a)は、比較のために従来技術である圧力変換器(マイクロフォン)を用いて超音速噴流102の騒音を計測し、得られたデータをフーリエ変換して得られた周波数分布を示すグラフである。

[0029] 図6(a)及び(b)は、超音速噴流102の所定位置における噴流騒音の周波数分布を示す。この周波数分布は、それぞれの計測結果についてフーリエ変換を行った結果である。なお、 r は超音速噴流の中止軸からの距離、 D はノズル出口113の直径(8.0mm)である。 z はノズル出口113からの z 軸方向の距離である。 X はレーザ光107の噴流中心軸からの X 軸方向の距離である。

図6(a)は、従来技術である圧力変換器を用いて得られた結果を示したものである。つまり、超音速噴流102の近傍($r/D=5.0$)に圧力変換器を設置して、得られた圧力データをフーリエ変換したものである。先述のように、圧力変換器を超音速噴流102の中に挿入することはできない。

図6(b)は、本実施形態である、シュリーレン法を用いて得られた結果である。

図6(a)と(b)を比較すると、スクリーチが現れる周波数は完全に一致していることがわかる。また、ブロードバンドノイズのピークも近い周波数領域に現れている。なお、ブロードバンドノイズの音源であるせん断層中の渦は、流れとともに移動する。移動音源のドップラー効果により、噴流外部で計測されるブロードバンドノイズ周波数は、計測位置によって変化する。従来技術である圧力変換器による計測結果と、本実施形態のシュリーレン法による計測結果とを比較すると、計測されたブロードバンドノイズ周波数のずれは、極めて妥当なものである。これらグラフの結果より、レーザ光と光センサを用いることで、非接触音響計測が可能であることが証明できた。

[0030] 再度、図3に戻って説明を続ける。

次に、第2記憶部306から計測点402毎のデータ(「XZ位置」、「周波数」及び「輝度振幅値」)を取り出し、解析対象周波数選択部307にて解析したい周波数を選ぶ。つまり、解析対象周波数選択部307はユーザインターフェースである。この選択は、GUIであっても、数値を目視で見えて選んでもよい。

例えば、各計測点402のデータをグラフ表示すると、図7に示すようなグラフが得られる。本例ではその一例として、スクリーチに該当する周波数成分を選び出し、解析を行う。

[0031] 図7は、超音速噴流102によって生じる噴流騒音の周波数分布を示したものである。輝度の計測結果についてフーリエ変換を行った結果であり、計測点をX軸方向にずらした結果を奥行き方向に重ね合わせて可視化したものである。なお、Dは、ノズル出口113の直径(8.0mm)である。

図中、縦軸は輝度振幅AJ、横軸は周波数である。奥行方向はレーザ光位置X/Dである。計測位置は、 $z/D=2.5$ ($z=20\text{mm}$)である。

全てのレーザ光位置X/Dにおいて、約28kHzにピークが現れることがわかる。これがスクリーチと推測できる。これ以降、この約28kHzのピークを「スクリーチのピーク」と呼ぶ。この後は、一例としてスクリーチに着目して説明を行う。ブロードバンドノイズについても、同様の手続で解析が可能である。

$0 < X/D < 0.5$ (噴流内部)では、スクリーチのピークが現れると同時に広い周波

数帯にわたって変動が現れる。

$X/D=0.5$ (ノズル出口113の半径と等しい位置)で、スクリーチのピークが最大となり、恐らくこの位置がスクリーチの主要な音源であると考えられる。

$0.5 < X/D$ (噴流外部)では、音波が静止雰囲気中に伝播していく過程でスクリーチのピークが減衰していくことがわかる。

以上の結果より、レーザ光と光センサを用いることで、噴流内部から周囲雰囲気にもわたる幅広い領域において、連続的な騒音計測が可能となることが証明できた。

[0032] 再度、図3に戻って説明を続ける。

解析対象周波数選択部307にて選択された周波数に係る、各計測点402の振幅値は、アーベル変換部308に投入され、処理される。

アーベル変換部308は、選択した特定の周波数において、あるZ地点におけるX方向の振幅値データを、あるZ地点における半径(r)方向の輝度振幅に変換する。アーベル変換は、CTスキャン等で周知の数値解析技術である。

[0033] アーベル変換部308にて得られたデータは、第3記憶部309に蓄積される。蓄積されるデータは、「周波数」、「rZ位置」、「密度勾配」である。なお、本例では軸対称場を用いて実施例を説明しているが、もちろん非軸対称場であってもアーベル変換は可能である。この場合、蓄積されるデータは、「周波数」、「rZ θ (角度)位置」、「密度勾配」である。

表示処理部310は、第3記憶部309から蓄積されたデータ(「周波数」、「rZ位置」及び「密度勾配」)を取り出し、表示部であるディスプレイ311にグラフ表示する。グラフ表示の手段としては、例えば表計算ソフトが備えるグラフ表示機能が利用可能である。

[0034] なお、第1記憶部302、第2記憶部306及び第3記憶部309は、ハードディスク装置等の不揮発性ストレージにて実現されることが望ましい。データを不揮発性ストレージに格納する際、データの形式は特に問わない。プレーンテキストであっても、表計算ソフトのデータファイルであってもよい。

[0035] 図5は、本実施形態における気体の密度勾配によるレーザ光の屈折の原理を説明する概略図である。

レーザー光107は、光路上に存在する、超音速噴流102それ自身の、あるいは超音速噴流102より発せられる音波によって生じる密度勾配502によって屈折する。レーザー光107の屈折の原理は蜃気楼と同じである。つまり、噴流の密度の差、すなわち密度勾配502による屈折率の変化と同じである。しかし、蜃気楼の場合とは、密度勾配502の計算方法が異なる。

蜃気楼の場合は、太陽光にて熱せられた地表によって、地表近傍の空気は密度が薄くなる。そして、垂直線上に密度勾配が地面と平行に変化する。本実施形態の場合、噴流の中心から円弧状に密度勾配が変化する。つまり、レーザー光107の屈折角を得るには、この円弧状の密度勾配502を積分する必要がある。

[0036] 噴流中心を原点Oとし、レーザー光107の進行方向をY軸、レーザー光107の進行方向と垂直方向をX軸とする。原点Oからの距離をrとする。ある原点Oから距離rの位置(半径方向位置r)における局所密度勾配を、

[0037] [数1]

【数1】

$$\frac{\partial \rho(r)}{\partial r} \equiv f(r) \quad (1)$$

と定義する。

局所的なレーザー光107の屈折角は、局所密度勾配f(r)に比例する。ある座標(X, r)におけるレーザー光107の屈折角 $\varepsilon(X, r)$ は、

[0038] [数2]

【数2】

$$\varepsilon(X, r) = c_1 f(r) \sin \theta = c_1 f(r) \frac{X}{r} \quad (2)$$

と表される。ただし、 c_1 は定数である。レーザー光107の屈折角 $\varepsilon(X, r)$ は密度勾配502のX軸方向成分のみに影響を受けるため、 $\sin \theta (=X/r)$ を乗ずる必要がある。こ

のような、ベクトル成分を考慮する手続きは、通常のアーベル変換には含まれない。本実施形態では、後述する式(7)の変数変換を行うことで、この問題を通常のアーベル変換に帰着させる。

式(2)を、レーザ光107の光路に沿って $X < r < R$ の範囲で積分した値を2倍したものが、光路長全体にわたるレーザ光107屈折角 $E(X)$ となる。

[0039] [数3]

【数3】

$$E(X) = 2 \int_X^R \frac{\varepsilon(X, r) r dr}{(r^2 - X^2)^{1/2}}$$

$$\therefore E(X) / X = 2c_1 \int_X^R \frac{f(r) / r r dr}{(r^2 - X^2)^{1/2}} \quad (3)$$

ある位置 X において、光センサ106によって検出されるレーザ光107の輝度変化 $J(X)$ を、次式のように定義する。

[0040] [数4]

【数4】

$$\frac{\Delta I(X)}{I_0} \equiv J(X) \quad (4)$$

ここで、 I_0 はレーザ光107の屈折が無い場合の輝度である。初期値且つ中間値である。屈折が発生すると、輝度が増すか減るかのいずれかに変化するからである。また、 $\Delta I(X)$ はレーザ光107の屈折による輝度変化分である。

このとき、 $J(X)$ は、光路長全体にわたるレーザ光107の屈折角 $E(X)$ に比例する(非特許文献12参照)。

[0041] [数5]

【数5】

$$J(X) \propto E(X) \quad (5)$$

上記式(5)はシュリーレン法の公式である。この公式は、角度と明るさが比例する、ということの意味している。

式(5)を用いて式(3)を書き直すと、

[0042] 【数6】

【数6】

$$J(X)/X = 2c_2 \int_X^R \frac{f(r)/r \, r dr}{(r^2 - X^2)^{1/2}} \quad (6)$$

が成立する。ただし、 c_2 は定数である。ここで、

[0043] 【数7】

【数7】

$$\begin{cases} J^*(X) = J(X)/X \\ f^*(r) = f(r)/r \end{cases} \quad (7)$$

$$(X \neq 0 \quad \text{かつ} \quad r \neq 0)$$

の変数変換を行うことで、式(7)は次式に帰着できる。

[0044] 【数8】

【数8】

$$J^*(X) = 2c_2 \int_X^R \frac{f^*(r)rdr}{(r^2 - X^2)^{1/2}} \quad (8)$$

式(8)は、核の位数1/2のアーベル積分方程式であり、解析的に次式のように解くことができる。

[0045] 【数9】

【数9】

$$f^*(r) = -c_3 \frac{1}{\pi r} \frac{d}{dr} \left\{ \int_r^R \frac{J^*(X)XdX}{(X^2 - r^2)^{1/2}} \right\} \quad (9)$$

ただし、 c_3 は定数である。

式(9)により、光センサ106で検出される輝度変化 $J^*(X)$ から、局所密度勾配 $f^*(r)$ を再構成することができる。

[0046] 前述のように、音波は圧力変動であり非定常現象である。そこで、非定常成分の取り扱いについて説明する。これ以降、すべての変数は時間の関数とする。

ある半径方向位置 r における密度勾配 $f(r, t)$ は、様々な周波数成分の重ね合せとして、

[0047] 【数10】

【数10】

$$f(r, t) = \sum A_{f,n}(r) \exp(i\omega_n t) \quad (10)$$

と表される。ただし、 $A_{f,n}(r)$ は n 番目の周波数成分の複素振幅、 ω_n は n 番目の周波数成分の角周波数である。 $n=0$ の時は定常項となる。

実際には、密度勾配変動は波動として空間中を伝播するため、各半径方向位置 r における空間的位相差を考慮する必要がある。ここでは簡単のため、密度勾配 $f(r, t)$ は、各半径方向位置 r でランダムな位相で振動すると仮定する。

一方、光センサ106で計測される輝度変化 $J(X, t)$ は、

[0048] [数11]

【数11】

$$J(X, t) = \sum A_{J,n}(X) \exp(i\omega_n t) \quad (11)$$

と表される。ただし、 $A_{J,n}(r)$ は n 番目の周波数成分の複素振幅、 ω_n は n 番目の周波数成分の角周波数である。 $n=0$ の時は定常項となる。

式(10)、(11)を、式(7)、(9)に代入すると、式の線形性から、

[0049] [数12]

【数12】

$$\sum A_{f,n}^*(r) = \sum \left[-c_3 \frac{1}{\pi r} \frac{d}{dr} \left\{ \int_r^R \frac{A_{J,n}^*(X) X dX}{(X^2 - r^2)^{1/2}} \right\} \right] \quad (12)$$

が成立する。ここから、 n 番目の周波数成分のみを抽出すれば、

[0050] [数13]

【数13】

$$A_{f,n}^*(r) = -c_3 \frac{1}{\pi r} \frac{d}{dr} \left\{ \int_r^R \frac{A_{J,n}^*(X) X dX}{(X^2 - r^2)^{1/2}} \right\} \quad (13)$$

が成立する。式(13)を用いることで、光センサ106で計測される輝度振幅 $A_{J,n}(r)$ から、局所的な密度勾配振幅 $A_{f,n}(r)$ を求めることができる。本実施形態では、Barrの

方法(非特許文献13参照)を用い、式(13)を線形行列式に変換して、密度勾配振幅 $A_{f,n}(r)$ を求める。なお、離散値のアーベル変換については、Barrの方法に限らず、多くの方法が利用可能である。

[0051] 輝度振幅のデータは、式(13)によって、超音速噴流内部および超音速噴流外部における、局所的な密度勾配振幅に変換できる。つまり、超音速噴流内部から超音速噴流外部におよぶ幅広い領域内の、空間上のある点における、密度勾配変動の振幅を算出することが可能となる。気体の密度は、密度勾配を空間積分することで得られる。密度勾配の各周波数成分は正弦波で変動するため、特殊な条件を除いて、密度振幅は密度勾配振幅に比例する。ここで特殊な条件とは、密度勾配振幅が空間的に急激に変化する場合等である。以下の説明では、密度振幅が、密度勾配振幅と比例関係にあるものと想定して説明する。

[0052] 図8(a)及び(b)は、スクリーチ周波数において、超音速噴流102の半径方向位置における、レーザ光の輝度振幅と、密度振幅のグラフである。

図8(a)において、縦軸は輝度振幅 A_j 、横軸はレーザ光位置 X/D である。

図8(b)において、縦軸は密度振幅 A_ρ 、横軸は半径方向位置 r/D である。

図8(a)及び(b)ともに計測位置は $z/D=2.5$ である。

図8(a)より、輝度振幅 A_j は、噴流内部ではほぼ一定で、ノズル出口113の半径相当位置で最大となり、静止雰囲気中では単調に減衰していくことがわかる。

図8(b)より、再構成された断層像では、密度振幅 A_ρ は、噴流中心軸近傍で大きな値になり、ノズル出口113の半径相当位置で再び増大して極大値になり、静止雰囲気中では単調に減衰していくことがわかる。

[0053] 本実施形態により、これまで困難であった、噴流内部から周囲雰囲気にわたる幅広い領域で、気体の密度変動計測が可能であることが証明できた。

なお、図8(b)で噴流中心近傍のデータが存在しないのは、式(7)の変数変換のため、 $r/D=0$ で解が不定となるためである。また、本実施形態で用いたBarrの方法では、解を安定化するため、隣接する前後2計測点ずつのデータを用いて補完を行う。このため、中心軸から3計測点目までの計測結果は不定となる。

これら制約は、計測点の間隔を細かくすることで実質的な解消が可能である。

[0054] 図9及び図10は、密度勾配振幅(≒密度振幅)データの、表示処理部310の機能による可視化画像である。

図9は、上半分がアーベル変換によって得られた、噴流102の密度振幅 A_{ρ} の断層像であり、下半分が連続シュリーレン像である。

図9の上半分は、密度振幅 A_{ρ} の等しい箇所を線で結び、地図でいう等高線のような形態にしたものである。各点は計測点を示す。

図9の下半分は、連続シュリーレン法を用いて、超音速噴流102の流れの可視化を行い、撮影したものである。超音速噴流102中に散乱粒子としてエタノール粒子を混入させ、連続発光キセノンランプとCCDカメラにて撮影した。なお、図中、超音速噴流102は左から右に流れている。

[0055] 図9の上半分において、超音速噴流102とその周囲にある静止雰囲気とのせん断層で、密度振幅が極大値をとる領域が離散的に観察される。また、そこから斜め下流方向に変動が伝播していく様子(図中矢印)が観察される。

また、超音速噴流102の中心軸近傍でも、密度振幅が極大値をとる領域が離散的に観察される。

図9の下半分の連続シュリーレン像において、ノズル出口113から濃淡の明るい箇所と暗い箇所が交互に連続的に出現している。この、明るい箇所から暗い箇所の、略四角形状の塊は衝撃波であり、ショックセルと呼ぶ。図の上半分で認められる、密度振幅が大きな領域の列構造と、図の下半分で認められる、ショックセルの構造とは一致している。このことより、渦の通過によりショックセルが周期的に変形する移動衝撃波が形成されていると考えられる。密度振幅はノズル出口113から第4番目のショックセルの近傍で最大値になり、スクリーチ音源がこの付近に存在することがわかる。

[0056] 本例では、様々なジェット騒音要素の中でもスクリーチに着目し、図3の解析対象周波数選択部307において、スクリーチの周波数成分のみを抽出して解析を行った。これにより、スクリーチの音源の振舞いが、ショックセルと深い関係にあることが示された。これ以外にも、たとえばブロードバンドノイズ周波数に着目し、当該周波数のみを抽出して解析を行えば、ブロードバンドノイズの音源の振舞いの特性を調べることが可

能である。

このように、本実施形態においては、様々な周波数成分からなるジェット騒音を、その成分毎に解析できるという大きな利点がある。

[0057] 前述のように、連続シュリーレン像とアーベル変換後の密度振幅断層像はその特徴に多くの一致点を有する。このことから、本実施形態の計測方法は極めて正確な計測結果を導き出せていることがわかる。

[0058] 図10は、上半分がアーベル変換によって得られた密度振幅断層像であり、下半分が噴流102の瞬間ミー散乱像である。

図10の上半分は、図9の上半分と同じである。

図10の下半分は、瞬間ミー散乱法を用いて、超音速噴流102の流れに可視化を施し、撮影したものである。超音速噴流102中に散乱粒子としてエタノール粒子を混入させ、Nd:YAGレーザとCCDカメラにて撮影した。

[0059] 図10に示すように、 $z/D=2$ 付近から、周期的な渦(図中矢印)が発達し始めることが分かる。

周期的な渦は、ショックセルを変形させ音波を放出する。

音波の一部はノズル出口に到達し、じょう乱源となり次の渦形成のきっかけとなる。

このフィードバックループがスクリーチの原因となるものと考えられる。

ノズル出口113から第4番目のショックセルは、渦が発達し始める位置に対応する。

ショックセルを変形させるのに十分なまでに渦が発達し、スクリーチの音源となることがわかる。

[0060] 本実施形態には、以下のような応用例が考えられる。

(1) 高速光センサを多重化することにより、CCDカメラと同様の、一度に多数の測定点の計測が実現できる。

[0061] 本実施形態においては、超音速噴流102によって生じる騒音を非接触にて計測し、解析する方法を開示した。

本実施形態では、レーザ光107を用いて、超音速噴流102に対して非接触にて計測ができる。このため、従来技術の、圧力変換器を超音速噴流102の近傍に設置して直接計測する方法と異なり、圧力変換器を挿入する際に発生する気流の乱れと、

それに伴って生じる測定誤差を排除できる。

また、フーリエ変換を介して特定の周波数成分について解析を行うので、従来技術と異なり、得られたデータを特定の周波数成分に分けた上での、より精緻な解析が実現できる。

[0062] 以上、本発明の実施形態例について説明したが、本発明は上記実施形態例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した本発明の要旨を逸脱しない限りにおいて、他の変形例、応用例を含むことは言うまでもない。

引用符号の説明

[0063] 101…計測システム、102…超音速噴流、103…レーザヘッド、104…凸レンズ、105…ナイフエッジ、106…光センサ、107…レーザ光、108…スクリーン、109…ピンホール、110…インターフェース、111…データ処理部、112…光学支持体、201…計測プローブ、202…支持枠、202A…上部枠、202B…下部枠、203…鏡、204…凹面鏡、302…第1記憶部、303…サンプルクロック、304…フーリエ変換部、305…平均演算部、306…第2記憶部、307…解析対象周波数選択部、308…アーベル変換部、309…第3記憶部、310…表示処理部、311…ディスプレイ、402…計測点、502…密度勾配

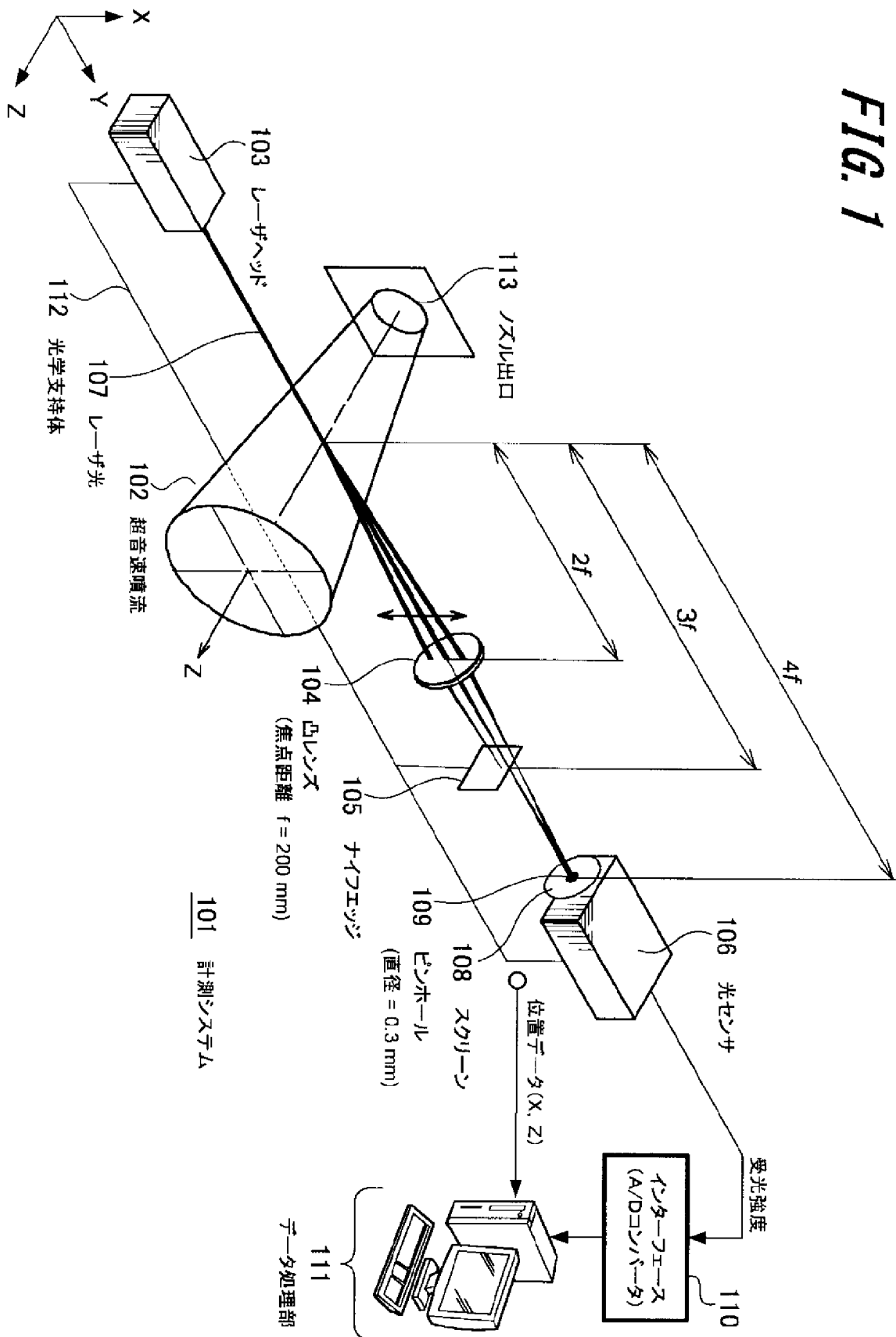
請求の範囲

- [1] 気流中の所定の計測点に光を通過させて前記光の輝度を電気信号に変換した輝度信号を出力する光学系と、
- 所定のサンプリング周波数にて前記輝度信号を輝度データに変換するインターフェースと、
- 前記輝度データとサンプリング時間情報と、前記計測点に係る計測位置情報を記憶する第1記憶部と、
- 前記第1記憶部に記憶されている前記サンプル時間情報と前記輝度データを前記計測位置情報毎にフーリエ変換して、周波数成分情報と振幅データを得るフーリエ変換部と、
- 前記計測位置情報と前記周波数成分情報と前記振幅データを記憶する第2記憶部と、
- 前記第2記憶部に蓄積されている前記周波数成分情報から、特定の周波数成分に係る前記振幅データを取り出す解析対象周波数選択部と、
- 前記解析対象周波数選択部で取り出された前記振幅データを、前記気流の中心からの半径方向位置における前記気流中の密度勾配の情報に変換するアーベル変換部と、
- 前記アーベル変換部にて得られた半径方向位置情報と前記密度勾配を記憶する第3記憶部と、
- 前記第3記憶部に蓄積されている前記半径方向位置情報と前記密度勾配情報を可視化処理する表示処理部と、
- 前記表示処理部の結果を表示するディスプレイと
- を具備する音響計測装置。
- [2] 前記光学系は、
- レーザ光源と、
- 集光部と、
- ナイフエッジと、
- ピンホールを有するスクリーンと、

- 前記スクリーンに設けられる光センサと
よりなるシュリーレン光学系を構成するものである、請求項1記載の音響計測装置。
- [3] 更に、
前記フーリエ変換部と前記第2記憶部との間に、前記周波数成分情報の平均値を得る平均演算部を具備するものである、請求項2記載の音響計測装置。
- [4] 気流中の所定の計測点にレーザ光を通過させて、前記レーザ光の屈折状態の変化を前記レーザ光の輝度の変化に変換して輝度信号を取得するステップと、
前記輝度信号を所定のサンプリングクロックにてデータ変換し、サンプリング時間情報と輝度データを取得するステップと、
前記サンプリング時間情報と前記輝度データを前記計測点の位置に係る計測位置情報と共に記憶するステップと、
前記計測位置情報に係る前記時間情報と前記輝度データをフーリエ変換して、周波数成分情報と振幅データを得るステップと、
前記周波数成分情報と前記振幅データを前記計測位置情報と共に記憶するステップと、
前記周波数成分情報から所望の周波数を選択し、前記選択した周波数に係る前記振幅データと前記計測位置情報を取り出すステップと、
前記選択された周波数に係る前記振幅データと前記計測位置情報をアーベル変換して、前記気流の中心からの半径方向位置における前記気流中の密度勾配のデータに変換するステップと、
前記半径方向位置における前記密度勾配のデータを記憶するステップと、
前記半径方向位置における前記密度勾配のデータを可視化表示するステップとを含む、音響計測方法。

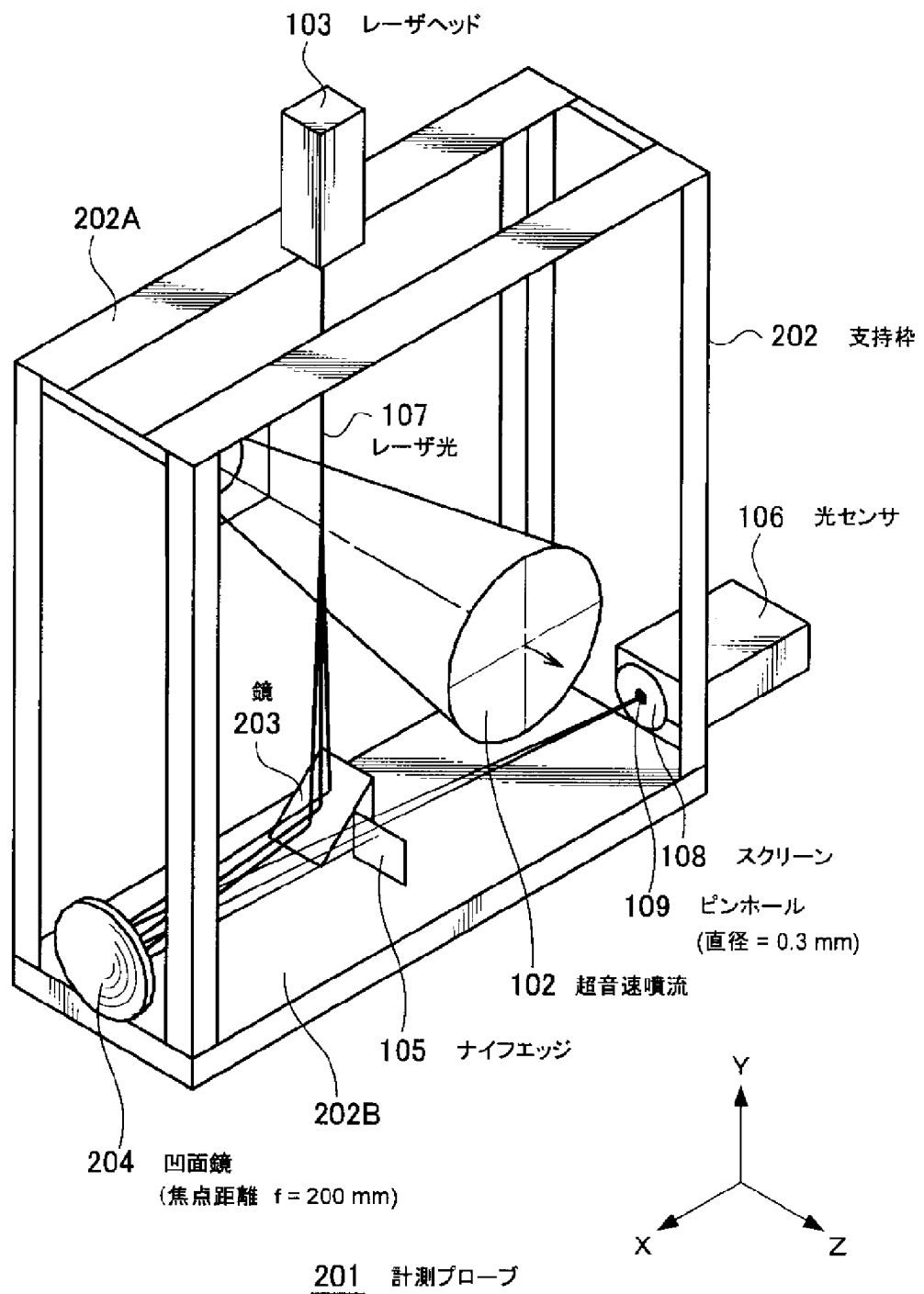
FIG. 1

図1



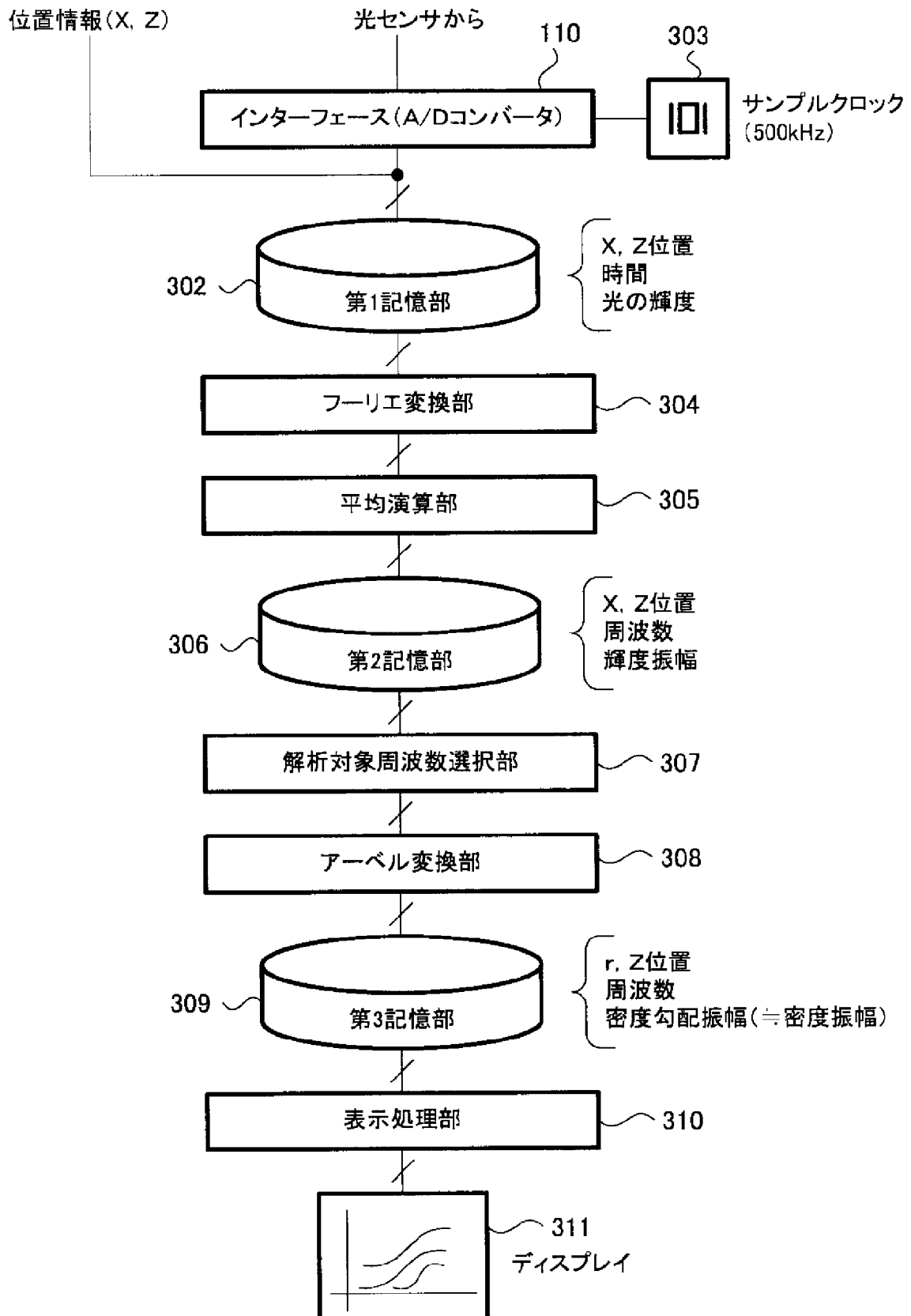
[図2]

FIG. 2

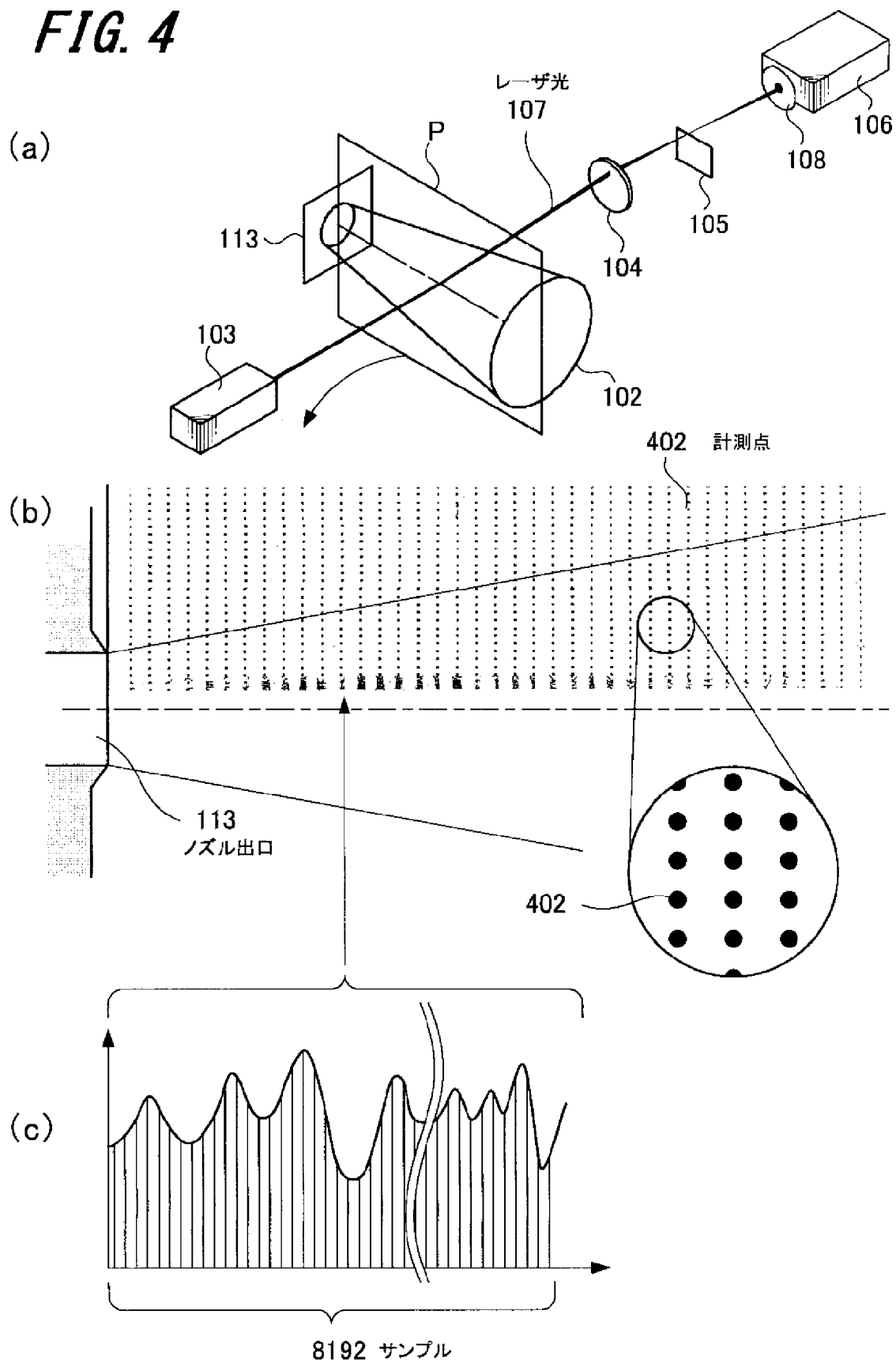


[図3]

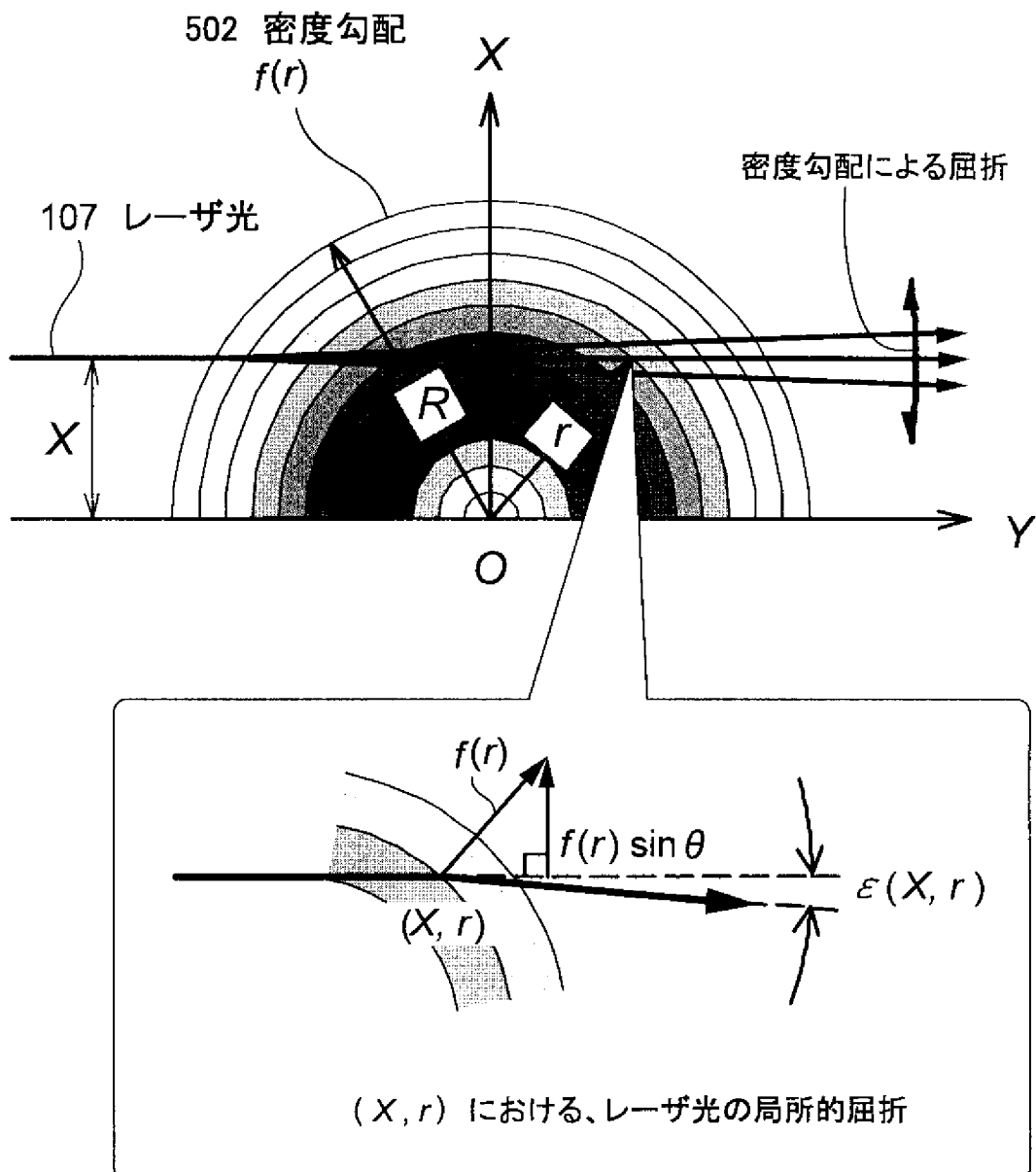
FIG. 3



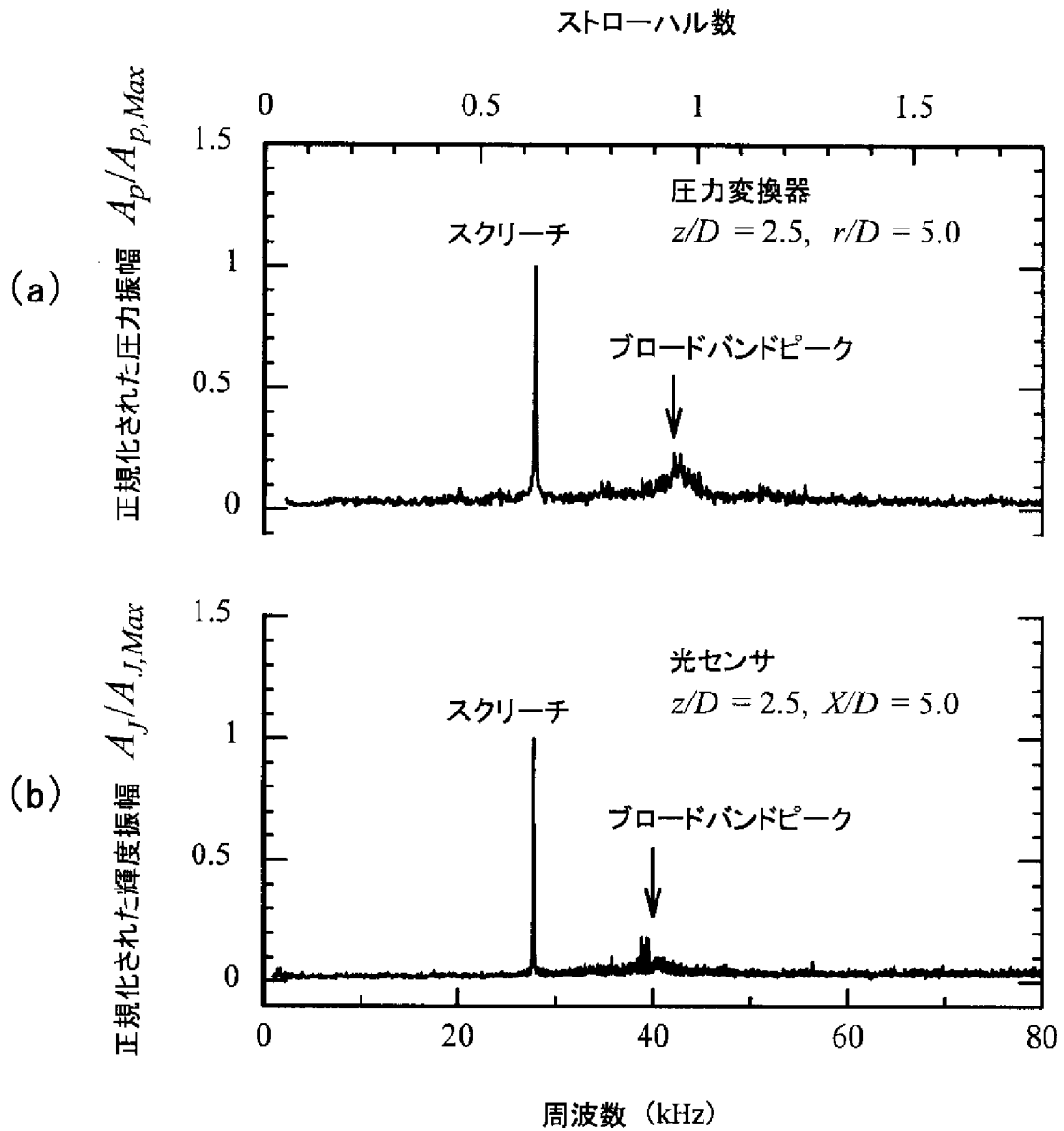
[図4]

FIG. 4

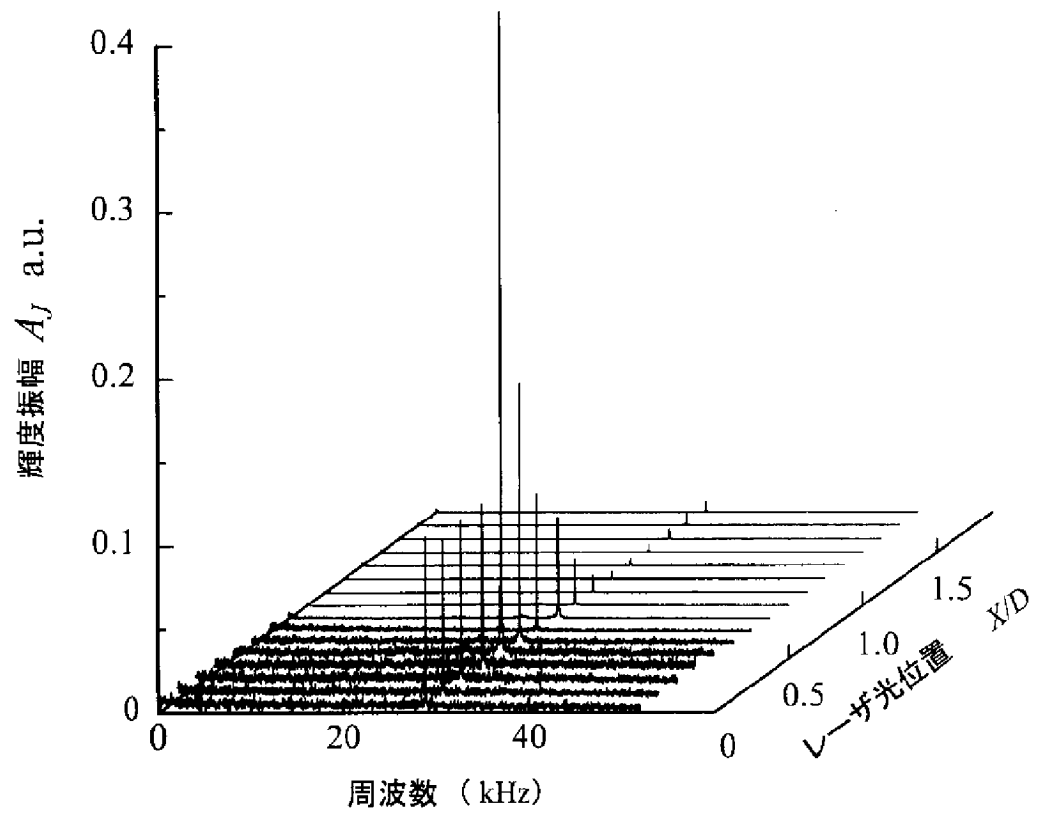
[図5]

FIG. 5

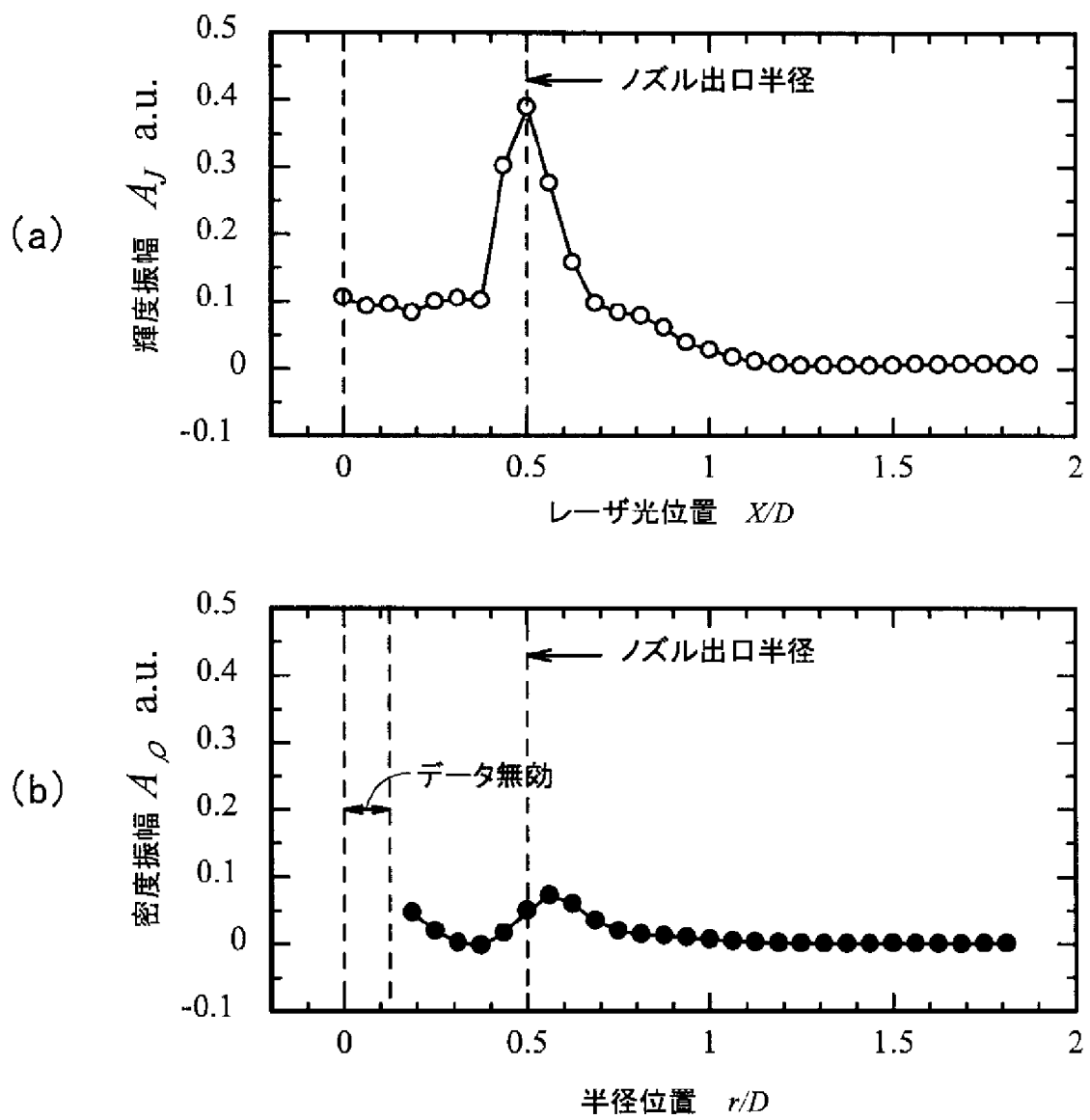
[図6]

FIG. 6

[図7]

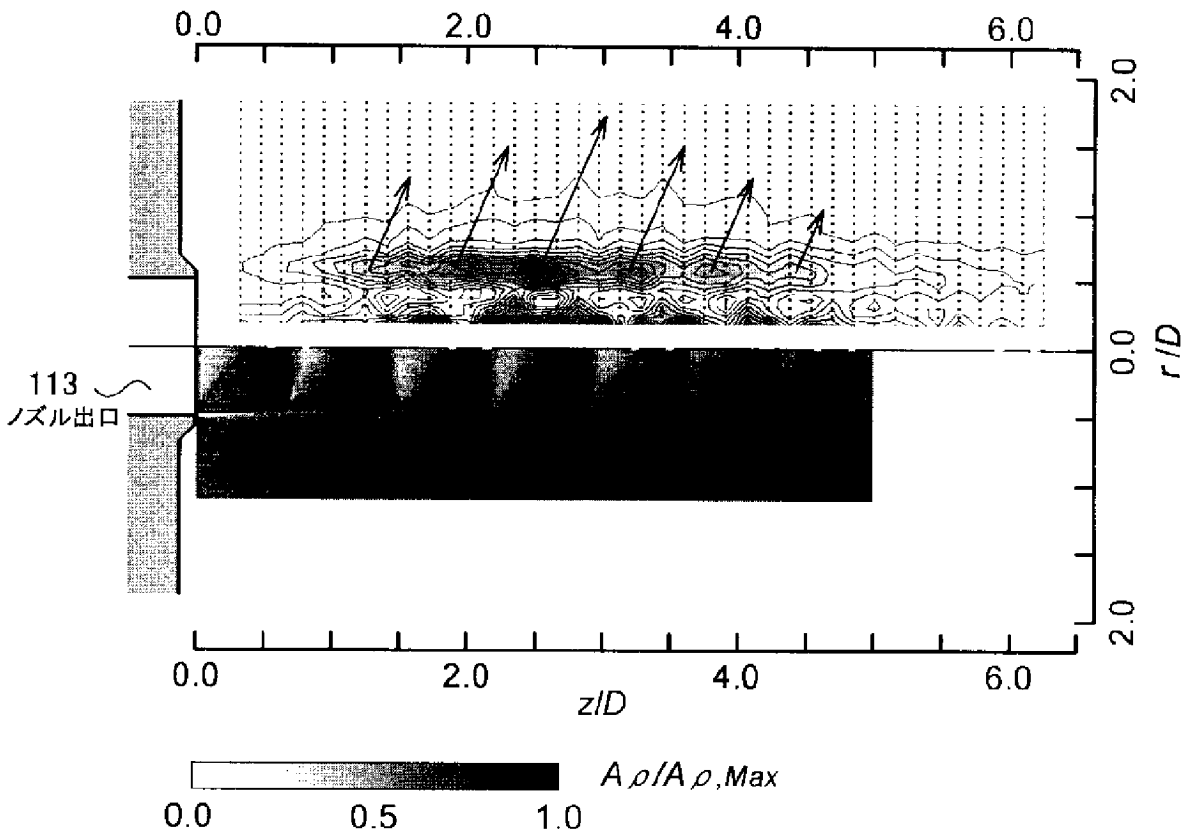
FIG. 7

[図8]

FIG. 8

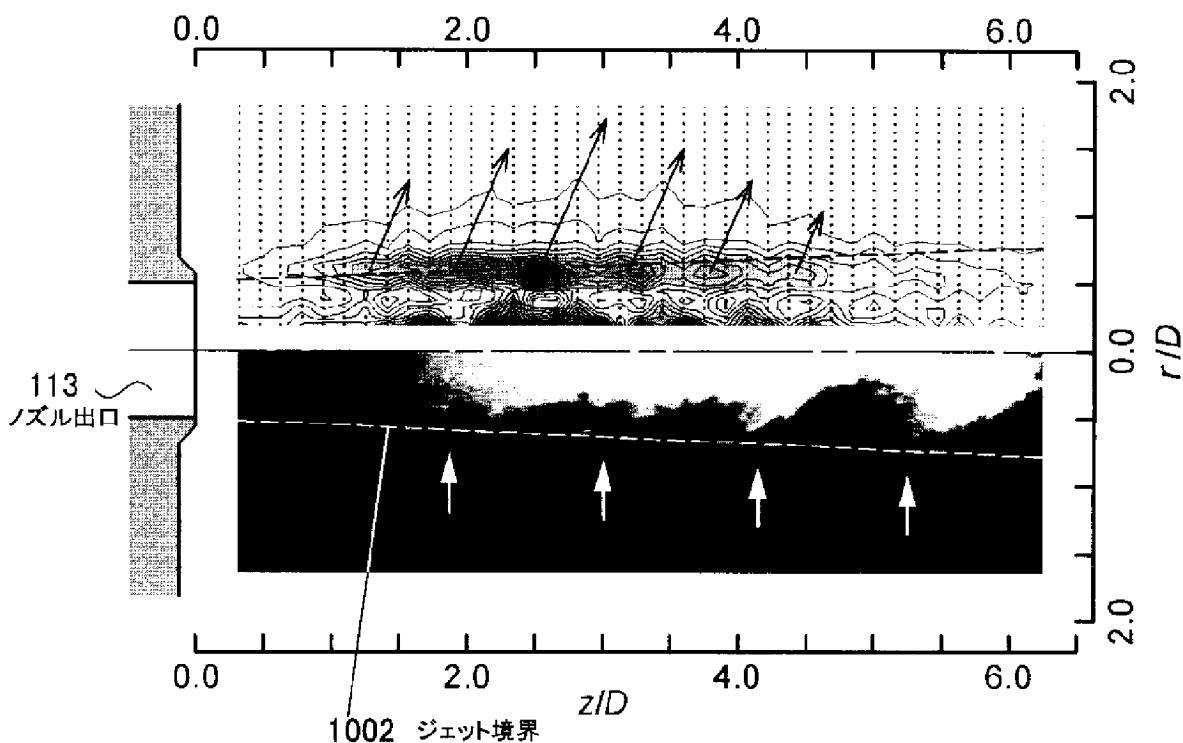
[図9]

FIG. 9



[図10]

FIG. 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/062485

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01H3/00(2006.01) i, G01H9/00(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01H3/00, G01H9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Yoshiaki KOSAKA, Kunisato SETO, "Veteran to Rookie Laser-ko ni yoru Ryutai Soon Sokutei", Valve Technical Review, 31 March, 2007 (31.03.07), Vol.22, No.1, pages 59 to 61	1-4
A	JP 2-290959 A (Nippon Steel Corp.), 30 November, 1990 (30.11.90), Page 4, upper left column, lines 6 to 12 (Family: none)	1-4

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 06 October, 2008 (06.10.08)	Date of mailing of the international search report 14 October, 2008 (14.10.08)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01H3/00(2006.01)i, G01H9/00(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01H3/00, G01H9/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2008年 日本国実用新案登録公報 1996-2008年 日本国登録実用新案公報 1994-2008年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	高坂祐顕, 瀬戸邦聡, ベテランとルーキー レーザ光による流体騒音測定, バルブ技報, 2007.03.31, Vol.22 No.1, Page.59-61	1-4
A	JP 2-290959 A (新日本製鐵株式会社) 1990.11.30, 第4頁左上欄第6-12行 (ファミリーなし)	1-4
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 06.10.2008	国際調査報告の発送日 14.10.2008	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 森 竜介 電話番号 03-3581-1101 内線 3252	2 J 8805