

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-322501

(P2003-322501A)

(43) 公開日 平成15年11月14日 (2003. 11. 14)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 1 B 5/28

識別記号

1 0 1

F I

G 0 1 B 5/28

特マコード* (参考)

1 0 1 2 F 0 6 2

審査請求 有 請求項の数13 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-128572(P2002-128572)

(22) 出願日 平成14年4月30日(2002. 4. 30)

特許法第30条第1項適用申請有り

(71) 出願人 000004097

日本原子力研究所

千葉県柏市末広町14番1号

(71) 出願人 391012707

高エネルギー加速器研究機構長

茨城県つくば市大穂1番地1

(72) 発明者 西澤 代治

茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4

日本原子力研究所東海研究所内

(74) 代理人 100089705

弁理士 社本 一夫 (外5名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ダクトの真円度・真直度計測システム

(57) 【要約】

【課題】 本発明に於いては、加速器ビームダクトとして用いる大口径 (200mm ~ 350mm) 且つ長尺 (L 500mm ~ 1200mm) の円筒状セラミックダクトの外側、内面側の両方について、真円度及び円筒軸真直度を安価に且つ必要な精度 (数十 μ m) で計測することを課題とする。

【解決手段】 本願発明に於いては、対向し且つ連動する二つの接触式デジタルゲージ (測微器) を有し、その二つのデジタルゲージでダクトを外側と内側から挟んで計測することを特徴とする、ダクト用の真円度計測機と汎用の表計算アプリケーションソフトウェアExcel で組んだ真円度算出 (データ解析) プログラムを解決手段とする。

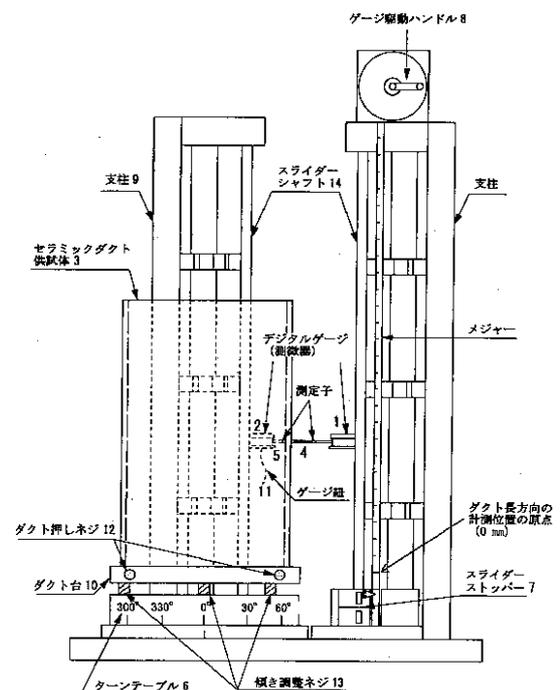


図1 ダクト真円度計測機の構成としくみ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 対向し且つ連動する二つの接触式デジタルゲージ（測微器）を有することを特徴とするダクト用の真円度計測機。

【請求項2】 円筒状ダクトをそれぞれ外面側と内面側の両側から挟む、対向する二つの接触式デジタルゲージ（測微器）と、

前記ゲージをダクト表面上鉛直方向に連動してスライドさせる機構と、

ダクトをその中心軸のまわりに回転させる機構とを有することを特徴とする、ダクト用の真円度計測機。

【請求項3】 ダクト表面上に任意の計測基準点（0点）を設定し、各計測点に於いて接触式デジタルゲージ（測微器）により前記計測基準点に於ける計測値（ゲージ指示値）からの変位のみを計測することを特徴とする、請求項1又は2に記載のダクト用の真円度計測機。

【請求項4】 ダクトの長さ方向数箇所にそれと直交する計測断面を取り、且つ各計測断面円周上に於いて一定の角度おきに計測点（計測角度）を取ることを特徴とする、請求項1～3のいずれか1項に記載の計測機を用いるダクトの真円度の計測方法。

【請求項5】 キャリブレーションとして、ダクトの一端近傍に取った計測基準点においてダクトの外径と肉厚、又は外径と内径、又は肉厚と内径を実測することを特徴とする、請求項4記載の真円度の計測方法。

【請求項6】 ダクトの最小二乗中心法真円度の計算手順が組み込まれ、変位データ（ゲージ指示値）の入力と多少のドラッグアンドドロップ操作によりダクトの真円度を算出・表示できる、表計算アプリケーションソフトウェアExcelで組んだプログラム（Excelプログラム）。

【請求項7】 ダクトの最小二乗円中心、最小二乗円半径、最大径・最小径・平均径、最大扁平率の計算手順が組み込まれ、これらの幾何データを算出・表示できる、請求項6記載のExcelプログラム。

【請求項8】 請求項5記載の計測方法によって得た変位データ（ゲージ指示値）を用い、請求項6又は7記載のExcelプログラムからダクトの真円度を求める計測システム。

【請求項9】 請求項8記載の計測システムにより、加速器用セラミックビームダクトの真円度を求める方法。

【請求項10】 請求項4又は5記載の方法を用いてダクトの各計測断面の最小二乗円中心を求め、ダクト断面上に於いて2次元的に最も離れた2点の最小二乗円中心の座標から、ダクトの円筒軸の真直度を求める方法。

【請求項11】 請求項10記載の方法によるダクトの円筒軸の真直度の算出手順が組み込まれ、最小二乗円中心の座標データの入力と多少のドラッグアンドドロップ操作により、ダクトの円筒軸の真直度を算出・表示できるExcelプログラム。

【請求項12】 請求項8記載の計測システムと請求項

11記載のExcelプログラムからダクトの円筒軸の真直度を求める計測システム。

【請求項13】 請求項12記載の計測システムにより、加速器用セラミックビームダクトの円筒軸の真直度を求める方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、円筒状ダクト（断面が楕円形やいびつな円形のダクトを含む）の真円度計測機、真直度計測機の分野に関する。

【0002】

【従来の技術】真円度・真直度の計測装置に関しては、英国テーラーホブソン社、東京光電子工業（株）等の市販装置は実績が多いが、計測対象は比較的短い、又は小口径の円筒状物体に限られている（例えば、テーラーホブソン社製の「Talysond 265 RSV」では最大長さL300mm、最大直径400mmであり、東京光電子工業（株）製の「RSVシリーズ ローラ測定装置」では、最大長さL600mm、最大直径60mm～80mmである）。

【0003】一方、（株）小坂研究所の市販装置では比較的大口径、長尺の円筒状物体の計測が可能（「ロンコーダEC5000、EC6000」で最大長さL1000mm～2000mm、最大直径450mm～680mm）とされるが、実績はまだ少なく、また非常に高価（2500～3000万円）である。

【0004】これらの真円度・真直度の計測装置に於いては、ダクトの外面側と内面側を同時計測できる市販装置はない。加えて、加速器用ビームダクト（セラミックダクト、又は通常の金属製ダクト）の真円度、真直度の報告例はない。

【0005】

【発明の解決しようとする課題】本発明に於いては、加速器ビームダクトとして用いる大口径（200mm～350mm）且つ長尺（L500mm～1200mm）の円筒状セラミックダクトの外面側、内面側の両方について、断面の真円度及び円筒軸の真直度を安価に且つ必要な精度（数十μm）で計測することを課題とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本願発明に於いては、請求項1に記載するように、対向し且つ連動する二つの接触式デジタルゲージ（測微器）を有することを特徴とするダクト用の真円度計測機を解決手段とする。

【0007】また、本願発明に於いては、請求項2に記載するように、円筒状ダクトをそれぞれ外面側と内面側の両側から挟む、対向する二つの接触式デジタルゲージ（測微器）と、前記ゲージをダクト表面上鉛直方向に連動してスライドさせる機構と、ダクトをその中心軸のまわりに回転させる機構とを有することを特徴とする、ダ

クト用の真円度計測機を課題解決手段とする。

【0008】また、本願発明に於いては、請求項3に記載するように、ダクト表面上に任意の計測基準点（0点）を設定し、各計測点に於いて接触式デジタルゲージ（測微器）により、前記計測基準点に於ける計測値（ゲージ指示値）からの変位のみを計測することを特徴とする、請求項1又は2に記載のダクト用の真円度計測機を課題解決手段とする。

【0009】更に本願発明に於いては、請求項4に記載したように、ダクトの長さ方向数箇所にそれと直交する計測断面を取り、且つ各計測断面円周上に於いて一定の角度おきに計測点（計測角度）を取ることを特徴とし、請求項1～3のいずれか1項に記載の計測機を用いるダクトの真円度の計測方法を課題解決手段とする。

【0010】また、本願発明に於いては、請求項5に記載するように、キャリブレーションとして、ダクトの一端近傍に取った計測基準点においてダクトの外径と肉厚、又は外径と内径、又は肉厚と内径を実測することを特徴とする、請求項4記載の真円度の計測方法を課題解決手段とする。

【0011】加えて、本願発明に於いては、請求項6に記載したように、ダクトの最小二乗中心法真円度の計算手順が組み込まれ、変位データ（ゲージ指示値）の入力と多少のドラッグアンドドロップ操作によりダクトの真円度を算出・表示できる、表計算アプリケーションソフトウェアExcelで組んだプログラム（Excelプログラム）を課題解決手段とする。

【0012】また、本願発明に於いては、請求項7に記載したように、ダクトの最小二乗円中心、最小二乗円半径、最大径・最小径・平均径、最大扁平率の計算手順が組み込まれ、これらの幾何データを算出・表示できる、請求項6記載のExcelプログラムを課題解決手段とする。

【0013】加えて、本願発明に於いては、請求項8に記載したように、請求項5記載の計測方法によって得た変位データ（ゲージ指示値）を用い、請求項6又は7記載のExcelプログラムからダクトの真円度を求める計測システムを課題解決手段とする。

【0014】更に本願発明に於いては、請求項9に記載したように、請求項8記載の計測システムにより、加速器用セラミックビームダクトの真円度を求める方法を課題解決手段とする。

【0015】加えて、本願発明に於いては、請求項10に記載したように、請求項4又は5記載の方法を用いてダクトの各計測断面の最小二乗円中心を求め、ダクト断面上に於いて2次元的に最も離れた2点の最小二乗円中心の座標から、ダクトの円筒軸の真直度を求める方法を課題解決手段とする。

【0016】また、本願発明に於いては、請求項11に記載したように、請求項10記載の方法によるダクトの

円筒軸の真直度の算出手順が組み込まれ、最小二乗円中心の座標データの入力と多少のドラッグアンドドロップ操作により、ダクトの円筒軸の真直度を算出・表示できるExcelプログラムを課題解決手段とする。

【0017】更に本願発明に於いては、請求項12に記載したように、請求項8記載の計測システムと請求項11記載のExcelプログラムからダクトの円筒軸の真直度を求める計測システムを課題解決手段とする。

【0018】加えて、本願発明に於いては、請求項13に記載したように、請求項12記載の計測システムにより、加速器用セラミックビームダクトの円筒軸の真直度を求める方法を課題解決手段とする。

【0019】

【発明の実施の態様】本発明者らは、上記課題を解決するため鋭意研究を重ねた結果、ダクトの真円度・真直度計測システムに関する発明を完成した。すなわち、本発明者らは：

a) 円筒状ダクトをそれぞれ外面側と内面側の両側から挟む、対向する二つの接触式デジタルゲージ（測微器）と、前記ゲージをダクト表面上鉛直方向に連動してスライドさせる機構と、ダクトをその中心軸のまわりに回転させる機構とを有する、手動式の大口径・長尺ダクト用真円度計測機（真円度・真直度計測機）であって、各計測点に於いて、ダクト上の任意の計測基準点（0点）に於ける計測値（ゲージ指示値）からの変位のみを計測し、真円度を算出することを特徴とする計測機を開発した。

【0020】b) ダクトの長さ方向数箇所にそれと直交する計測断面を取り、且つ各計測断面円周上に於いて一定の中心角度おきに計測点（計測角度）を取り、さらにキャリブレーションとしてダクト一端近傍に取った計測基準点（0点）に於いてノギス等で外径と肉厚を実測する、a)記載の真円度計測機に対応する計測方法を考案した；

c) ダクトの最小二乗中心法真円度、及び最小二乗円中心、最小二乗円半径、最大径・最小径・平均径、最大扁平率等の計算手順を組み込み、上記a)、b)の計測機と計測方法を用いて取得した変位データ（ゲージ指示値）の入力と多少のドラッグアンドドロップ操作によりこれらの幾何データを算出・表示できる、「真円度算出のExcelプログラム（Excelデータ表）」を開発した；

d) ダクト断面上に於いて、2次元的に最も離れた2点の計測断面最小二乗円中心の座標から、ダクトの円筒軸の真直度を求める方法を開発した；そして、

e) d)記載の方法によるダクトの円筒軸の真直度の算出手順が組み込まれ、c)で算出した各計測断面の最小二乗円中心の座標データの入力と多少のドラッグアンドドロップ操作によりダクトの円筒軸の真直度を算出・表示できる、「真直度算出のExcelプログラム（Excelデータ表）」を開発した。

【0021】本発明により開発した真円度計測機（真円度・真直度計測機）の一態様を図1に、その主要仕様を表1に示す。

*【0022】
【表1】

表1 ダクト真円度計測機/主要仕様

項目	仕様
(1) 計測項目	真円度、真直度、最小二乗円半径、最大径、最小径、平均径、扁平率他
(2) 型式	手動式・機械式・接触式
(3)	供試体(円筒状物体)をターンテーブル上に固定し、2台のデジタルゲージ(測微器)をスライドさせて外径側・内径側の指示値を読む。
(4) 回転方式	ターンテーブル式(手動式)
(5) 計測範囲	
1) 最小径	170mm
2) 最大径	360mm
3) 最大長	1200mm
(6) ゲージ分解能	10 μ m
(7) ゲージ指示方向	径の増大する方向を+とする。(反転可)
(8) 計測精度	
1) ターンテーブル1回転時の軸振れに伴う誤差 ^{*1} (軸出し調整にも依存する)	a. ダクト長方向計測位置 940~970mm: $\leq 130\mu$ m b. ダクト長方向の計測位置 370mm: $\leq 40\mu$ m
2) 2つのスライダシャフトの平行からのズレ ^{*2}	$\leq 90\mu$ m (ゲージ・スライダの1000~0mm間の移動に対して)
3) キャリブレーションに用いた標準ノギスの精度 ^{*3}	a. 最小読取值: 0.05mm b. 器差: ± 0.08 mm
(9) キャリブレーション	2点(ダクト一端の0°位置での外径値、肉厚値)の実測による。

「注:」

- *1 最小二乗円中心の座標の誤差を通じ、ダクトの上端部、中央部の真円度・真直度、及びダクト径(最小二乗円半径、最大径・最小径・平均径等)の値に影響する。
→この誤差は、次の計測断面に移るときはキャンセルできる。
- *2 真円度・真直度の値には影響しない。下端部、中央部のダクト径の値に影響する。
→ダクト上端部に計測基準点を設定しているため、この平行からのズレは、ほぼゲージ・スライダの移動軌跡の真直度に相当する。
- *3 真円度・真直度の値には影響しないが、ダクト径の値には直接影響を与える。

→最大で130 μ mの誤差を生ずる。

【0023】図1に於いて、この計測機は、円筒状ダクト(セラミックダクト供試体)3をそれぞれ外面側と内面側の両側から挟む、対向する2つの接触式デジタルゲージ(測微器)1, 2と、前記ゲージをダクト表面上鉛直方向にスライダシャフト14に沿って連動してスライドさせるゲージ駆動ハンドル8と、ダクト3を載せたダクト台10をその中心軸のまわりに回転させるターンテーブル6とを有する。

【0024】本発明に於ける「接触式デジタルゲージ(測微器)」は、その測定子がダクト表面に接触して変位を計測するものであればいずれのものであってもよい。但し、このとき2つのゲージは完全に対向するように、即ち鉛直面内で常に同じ高さに位置し、ダクト表面上をスライドするときには連動するように、機械的に連結されている。

【0025】また、ゲージ駆動ハンドル8は、ハンドル

の手動回転により生ずる駆動力を機械的に連結されている外側ゲージ1と内側ゲージ2に同時に伝える手段(例えば、ベルト等)を有している。かかる構造を採用することにより、ゲージ駆動ハンドル8を回転させると、ゲージ1, 2をスライダシャフト14に沿って連動させることができる。

【0026】また、この計測機は、表1に示すように、最大径360mm、最大長1200mmのダクトを計測することができる大口径・長尺ダクト用真円度計測機(真円度・真直度計測機)である。

【0027】本発明の一態様においては、図1に示す計測機を用いることにより、ダクトの真円度を計測する。かかる計測機は、各計測点に於いて、ダクト上の任意の計測基準点(0点)に於ける計測値(ゲージ指示値)からの変位のみを計測することにより真円度を算出することを特徴とする。計測点(計測角度)は、ダクトの長さ

方向数箇所にと直交する計測断面を取り、各計測断面円周上に於いて一定の中心角度おきに設定する。

【0028】

【実施例】A．計測準備（供試体ダクトのセッティングと軸出し調整）

本発明の一態様である真円度計測機（図1）の計測準備（供試体ダクトのセッティング及び軸出し調整）の手順を以下に示す。

A - 1．供試体ダクトのセッティングの手順

（1）供試体ダクトの外側側を測定するデジタルゲージ（外側ゲージ）1の測定子4を外側表面から離れるように引っ込み、ストッパー（図1中に示さず）で固定する。

【0029】（2）ターンテーブル6を原点位置（回転角0°）に設定する。

（3）スライダ・ストッパー7（ゲージが下端に衝突して損傷するのを防止する）を外し、ゲージ駆動ハンドル8を回して外側及び内側ゲージ1, 2を最下部（定位置のスライダ・ストッパーに当たる所）までゆっくり下げる。

【0030】（4）計測機のダクト台側支柱9にかぶせるようにしながら、供試体ダクト3をダクト台10上にほぼ同心円上になるように降ろす。

（5）ゲージ紐11を引いてダクトの内径側を測定するゲージ（内側ゲージ）2の測定子5（ゲージ紐11が連結されている）を内径表面から離れるように引っ込みながら、ゲージ1, 2をダクトの原点位置（ダクト長方向の計測位置0mm）まで上げ、ゲージ紐11を引く力を弱めて内側ゲージ2の測定子5を静かにダクト内径側に当てる。

【0031】（6）スライダ・ストッパー7を定位置に設定する。

（7）ストッパーを外し、外側ゲージ1の測定子4を静かにダクト外径側に当てる。

A - 2．軸出し調整の手順

（1）前述の「ダクトのセッティングの手順」におけるダクトの原点位置に於いて、外側ゲージ1、内側ゲージ2の指示値をリセット（0点調整）する。

【0032】（2）ターンテーブル6を90°ずつ回転させながら指示値を読み、ターンテーブルの円中心を挟んで180°対向する角度（0 - 180°, 90 - 270°）でのゲージ指示値を均衡させるように、ダクト押しネジ12でダクト3をダクト台上の水平面内で微少移動させる。このとき、上記対向角度でのゲージ指示値の平均値を目標に均衡させてゆく。

【0033】（3）両方のゲージをダクト上端部に移動させる。

（4）傾き調整ネジ12（3本）でダクト台10の傾きを調整しつつ、ターンテーブル6を90°ずつ回転させながらゲージ指示値を読み、対向する角度でのゲージ指示

値を均衡させるようにする。このとき、対向角度でのゲージ指示値の平均値を目標に均衡させてゆく。目標に収束しやすくするため、初めに2本のネジを使う方向を調整し、次に90°回転させ、もう1本のネジで調整する。

【0034】（5）必要な精度（偏差 $\sim 20\mu\text{m}$ ）が得られるまで、（2）～（4）の調整作業を繰り返す。

B．真円度・真直度の計測

Aの操作によりダクトのセッティングと軸出し調整を行った後、ダクトの真円度・真直度の計測を行った。

B - 1．計測

（1）供試体ダクト3上に図2に示す4箇所の計測断面を、また各計測断面円周上に図3に示す計測基準点（0点）と15°おき24点の計測点（計測角度）を仮想的に設定する。前記の供試体ダクト3のセッティング、軸出し調整の後、ゲージ1, 2をダクトの計測基準点に移動させ、ゲージ指示値をリセット（0点調整）する。

【0035】（2）まず、ダクトの上端部近傍の計測断面について計測を開始する。供試体ダクト3を載せたダクト台10と連結されているターンテーブル6を15°時計回りに回転させる。このときデジタルゲージ1, 2の測定子4, 5は各々ダクトの外表面と内面に接したまま、ダクト表面上を水平面内でスライドし、デジタルゲージ1, 2の指示値は、計測基準点に於ける計測値（ゲージ指示値：0）からの変位を示す。2つのゲージ指示値を読んで記録する。

【0036】（3）以下、同様にターンテーブル6（供試体ダクト3）を15°ずつ時計回りに回転させ、2つのゲージ指示値を読んで記録する。

（4）ダクトが1回転したら、次に2つのゲージと連結されているゲージ駆動ハンドル8を回して、デジタルゲージ1, 2をスライダシャフト14上をスライドさせ、鉛直方向に次の計測断面の0°位置に移動する。このときデジタルゲージ1, 2の測定子4, 5は、各々ダクトの外表面と内面に接したまま、ダクト表面上を鉛直面内でスライドし、デジタルゲージ1, 2の指示値は計測基準点における計測値（ゲージ指示値：0）からの変位を示す。2つのゲージ指示値を読んで記録する。

【0037】以下、同様にターンテーブル6を1回転するまで15°ずつ時計回りに回転させ、2つのゲージ指示値を読んで記録する。

（5）以下、3番目、4番目の計測断面についても同様の作業を繰り返す。

B - 2．キャリブレーション

計測終了後、供試体ダクト3をダクト真円度計測機から取り外す。ダクト上端の計測基準点位置（ダクト上端部×計測断面の計測角度0°位置）に於いて、標準ノギスを用いて外径値（0°/180°間）、肉厚値（0°）を実測する。

C．真円度・真直度の算出

C - 1．真円度の算出

である。

【0042】(iv) E列は、 $x_j = r_j + \cos \theta_j$ に示す、各計測点を極座標(r_j, θ_j)から2次元直交座標に変換したx座標： x_j を示す。

演算式； $= D_j * \cos(B_j * 2 * 3.141592654 / 360)$

(v) F列は、 $y_j = r_j + \sin \theta_j$ に示す、各計測点のy座標： y_j を示す。

【0043】

演算式； $= D_j * \sin(B_j * 2 * 3.141592654 / 360)$

(vi) G列は、 $R_j^2 = (x_j - a)^2 + (y_j - b)^2$ に示す、各計測点と最小二乗円中心との二乗距離： R_j^2 を示す。

【0044】演算式： $= (E_j + 0.238055918)^2 + (F_j + 0.123762003)^2$

*最小二乗円中心： $a = -0.238055918, b = -0.123762003$

(vii) H列は、 $R_j = \{(x_j - a)^2 + (y_j - b)^2\}^{1/2}$ に示す、各計測点と最小二乗円中心との距離： R_j を示す。

【0045】演算式； $= \text{SQRT}(G_j)$

(3)以下、本Excelプログラム(データ表)により、ダクトの真円度等を算出するまでの手順について説明する。このExcelプログラム(データ表)のC列に、各計測点でのゲージ指示値(変位量) θ_j を入力する。次いで、D列最上部に於いて演算式： $= C_j + r_0$ にキャリブレーションから求めた r_0 の値を入力し、角度(計測点)345°までドラッグアンドドロップ操作を行う。そして、G列最上部に於いて、演算式： $= (E_j - a)^2 + (F_j - b)^2$ にE列及びF列の最下部に計算・表示された最小二乗円中心座標(a, b)の値を入力し、角度(計測点)345°までドラッグアンドドロップ操作を行う。

【0046】以上の操作により、表2ではH列下部に最小二乗中心法真円度； $Z_q (= \max(R_j) - \min(R_j))$ 、最小二乗円半径； $R (= 1/24 \sum R_j)$ が、またE列及びF列下部に最小二乗円中心の座標が計算・表示される。

【0047】即ち、真円度計測の生データである径の変位量と外径・肉厚実測のキャリブレーションから、汎用の表計算アプリケーションExcelを用いて円筒状セラミックダクトの真円度を算出する方法を確立できた。

【0048】(4)次に、ダクトの最大径・最小径・平均径、最大扁平率の算出(表2中I列~K列)について同様に説明する。

(i) I列は、 $l_j = r_j + r_{(j+12)}$ に示す、各計測点(計測角度)におけるダクト計測断面の外径(外径) l_j を示す。

【0049】演算式： $= D_j + D_{(j+12)}$

(ii) J列は、各計測点(計測角度)でのダクト外径と、それと直交するダクト外径との差の絶対値を示す。

【0050】演算式： $= \text{ABS}(I_j - I_{(j+6)})$

(iii) K列は、 $k_j = |l_j - l_{(j+6)}| / \text{MAX}(l_j, l_{(j+6)})$ で定義した、各計測点での扁平率： k_j を示す。

【0051】演算式： $= J_j / \text{MAX}(I_j, I_{(j+6)})$

表2では、前記(3)に記載したデータ入力と多少のドラッグアンドドロップ操作により、真円度 Z_q 、最小二乗円半径 R 、最小二乗円中心の座標等とともにダクトの最大径・最小径・平均径等がJ列中央部に、最大扁平率がK列中央下部に計算・表示される。

10 【0052】即ち、Excelを用いることで、真円度に加え、円筒状ダクトにとって有用な最大径・最小径・平均径、最大扁平率等の一連の幾何データを容易に得る方法をも確立できた。

C-2. 円筒軸の真直度の算出

(1)ダクトの円筒軸は、円筒の各断面の中心を連結する曲線として定義することができる。従って、近似的に、真円度計測時に算出したダクト長方向の各計測断面の最小二乗円中心を結ぶ曲線(直線)と考えてよい。また、通常セラミックダクト等では、ダクト本体の円筒とダクトの円筒軸を含む最小領域としての円筒の交角は小さく、殆ど平行と見なすことができる。

【0053】このとき最小領域法によるダクトの円筒軸の真直度の値は、多くの場合、各最小二乗円中心をダクト長方向から見たときの、2次元的に最も離れた2点の距離として表すことができる。即ち、多くの場合この2点の座標からダクトの円筒軸の真直度を求めることができる。

【0054】図4は、最小領域法による円筒軸の真直度の求め方を表す図である。言い換えれば、図4は、SSA-S/No.1供試体セラミックダクトについて、真円度計測過程で算出した各計測断面の最小二乗円中心のばらつきを示している。ここで、座標の原点(0,0)は仮想中心軸である。

【0055】この供試体ダクト外径側の円筒軸真直度の値は、最も離れた2つの最小二乗円中心を通る円(図中に最小領域として示す)の直径 f で表される。

(2)開発した「真直度算出のExcelプログラム(Excelデータ表)」を表3に示す。

【0056】

40 【表3】

表3 真直度算出のExcelプログラム(Excelデータ表(例))

1)ダクトメーカー/型番: ニッカト~/SSA-S
2)ダクト番号: No.4

B	C	D	E	F	G	H	I
	最小二乗円中心/ x座標 [mm]	最小二乗円中心/ y座標 [mm]	最小二乗円中心間の二乗距離 $L_j^2 = (a_j - a_i)^2 + (b_j - b_i)^2$	最小二乗円中心間の二乗距離 $L_j^2 = (a_j - a_i)^2 + (b_j - b_i)^2$	最小二乗円中心間の二乗距離 $L_j^2 = (a_j - a_i)^2 + (b_j - b_i)^2$	軸真直度 f [mm]	軸真直度 f [μm]
(外径側)							
計測断面1(上端部)	0.326394881	0.300757443					
計測断面2(中央部)	0.846905868	0.324723105	0.271506041	0.138453691			
計測断面3(中央部)	0.499778100	0.190723091	0.350844396	1.108058612	0.463555706		
計測断面4(下端部)	-0.122374200	-0.085831108	0.350844396	1.108058612	0.463555709	1.05264363	1052.64363
(内径側)							
計測断面1(上端部)	0.460147664	0.318791823	0.249454965	0.143114035			
計測断面2(中央部)	0.958519087	0.351669010	0.026538476	1.158049302	0.487089705		
計測断面3(中央部)	0.599073735	0.233715254	0.371290461	1.158049302	0.487089705	1.076126992	1076.126992
計測断面4(下端部)	-0.057730609	-0.002286471	0.371290461	1.158049302	0.487089705	1.076126992	1076.126992

$b_1 = 0.300757443$

但し、外径側・内径側の各々最下行には、これら二乗距離の最大値を示す。

【0060】(iv) F列は、計測断面2の最小二乗円中心と、計測断面3~4の最小二乗円中心との二乗距離： L_j^2 を示す。

演算式： $= (C_j - 0.846905868)^2 + (D_j - 0.324723105)^2$

* 計測断面2の最小二乗円中心： $a_2 = 0.846905868$, $b_2 = 0.324723105$

但し、外径側・内径側の各々最下行には、これら二乗距離の最大値を示す。

【0061】(v) G列は、計測断面3の最小二乗円中心と、計測断面4の最小二乗円中心との二乗距離： L_j^2 を示す。

演算式： $= (C_j - 0.499778100)^2 + (D_j - 0.190723091)^2$

* 計測断面3の最小二乗円中心： $a_3 = 0.499778100$, $b_3 = 0.190723091$

但し、外径側・内径側の各々最下行には、これら二乗距離の最大値を示す。

【0062】(vi) H列は、E~G列について、外径側・内径側の各々最下行に示された二乗距離の最大値の中から更に最大値を取り、且つ平方根を取った値を示す。従ってこの値が、計測断面1~4の最小二乗円中心同士の2次元的な距離の中の最大値、即ち供試体ダクトの円筒軸の真直度 f [mm] に相当する。

【0063】演算式： $= \text{SQRT}(\text{MAX}(E_j : G_j))$

(vii) I列は、円筒軸の真直度 f [μm]を示す。

演算式： $= H_j * 1000$
(3)以下、本Excelプログラムにより、ダクトの円筒軸の真円度を算出するまでの手順について説明する。このExcelプログラム(データ表)のC列に、各計測断面の最小二乗円中心x座標の値(表2E列下部に表示)を入力する。次いで、D列に、各計測断面の最小二乗円中心y座標の値(表2F列下部に表示)を入力する。

【0064】外径側、内径側共にE列最上部(計測断面2対応の行)に於いて、演算式： $= (C_j - a_1)^2 + (D_j - b_1)^2$ にC列及びD列の最上部に入力した、計測断面1の最小二乗円中心座標 a_1 , b_1 の値を入力し、計測断面4の行までドラッグアンドドロップ操作を行う。

【0065】次いで、外径側、内径側共にF列最上部(計測断面3対応の行)に於いて、演算式： $= (C_j - a_2)^2 + (D_j - b_2)^2$ にC列及びD列に入力した、計測断面2の最小二乗円中心座標 a_2 , b_2 の値を入力し、計測断面4の行までドラッグアンドドロップ操作を行う。

【0066】そして、外径側、内径側共にG列最上部(計測断面4対応の行)に於いて、演算式： $= (C_j$

【0057】以下、表中の各列を説明する。

(i) C列は、外径側・内径側についての、各計測断面の最小二乗円中心のx座標の入力データである。

【0058】(ii) D列は、外径側・内径側についての、各計測断面の最小二乗円中心のy座標の入力データである。

(iii) E列は、計測断面1の最小二乗円中心と、計測断面2~4の最小二乗円中心との二乗距離： L_j^2 を示す。

【0059】演算式： $= (C_j - 0.326394881)^2 + (D_j - 0.300757443)^2$

* 計測断面1の最小二乗円中心： $a_1 = 0.326394881$, $b_1 = 0.300757443$

- a_3)² + (D_j - b_3)²にC列及びD列に入力した、計測断面3の最小二乗円中心座標 a_3 , b_3 の値を入力する。

【0067】以上の操作により、表3ではH列に最小領域法による円筒軸真直度 f [mm] が、またI列には円筒軸真直度 f [μ m] が計算・表示される。

(4) 上述したように、本発明に於いては、ダクト断面上に於いて2次元的に最も離れた2点の計測断面最小二乗円中心の座標から、ダクトの最小領域法による円筒軸の真直度を求める方法を開発した。

【0068】また、かかる方法によるダクトの円筒軸真直度の算出手順が組み込まれ、最小二乗円中心の座標データの入力と多少のドラッグアンドドロップ操作によりダクトの円筒軸真直度を算出・表示できる、「真直度算出のExcelプログラム(Excelデータ表)」を開発した。

D. 結果

今回開発した真円度計測機、計測方法、真円度算出のExcelプログラムを用いて計測・算出した、加速器ビームダクト用の円筒状セラミックダクト供試体(3種類計7本)の真円度をプロットしたグラフを図5、図6に示す。

【0069】更に、今回開発した真円度計測機、計測方法、真円度算出のExcelプログラム、真直度算出のExcelプログラムを用いて計測・算出した、加速器ビームダクト用の円筒状セラミックダクト供試体(3種類計7本)の真直度(円筒軸真直度)をプロットしたグラフを図7に示す。

【0070】

【発明の効果】本発明により、極めて安価且つ必要な精度(20 μ m程度)で、加速器ビームダクトとして用いる大口径(200mm~350mm)で長尺(L500mm~1200mm)の円筒状セラミックダクトについて、真円度及び真直度を計測・算出できるようになった。

【0071】費用は、真円度計測機の製作費約200万円のみと、非常に安価である。本発明により、ダクトの外側、内側側の両方について真円度・真直度を同時計測できるようになった。

【0072】本発明により、真円度・真直度のみならず

円筒状ダクトにとって有用な最小二乗円半径、最大径・最小径・平均径、扁平率等の幾何データも同時に計測・算出できるようになった。

【0073】本発明では、汎用の表計算アプリケーションソフトExcel上で、真円度・真直度等の算出を行うデータ解析のプログラムを組んでいる。このため誰もが容易に使用でき、また複数の箇所でも分担・並行してデータ解析を行うことも可能になった。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】 図1は、ダクト真円度計測機(ダクト真円度・真直度計測機)の構成としくみを表す図である。

【図2】 図2は、ダクト長方向の計測断面を表す図である。

【図3】 図3は、計測断面円周上の計測点(計測角度)を表す図である。

【図4】 図4は、最小領域法による円筒軸の真直度の求め方を表す図である。

【図5】 図5は、セラミックダクト真円度のダクト長依存性を示す図である。

20 【図6】 図6は、セラミックダクト真円度の扁平率依存性を示す図である。

【図7】 図7は、セラミックダクト真直度のダクト長依存性を示す図である。

【符号の説明】

- 1 外側デジタルゲージ
- 2 内側デジタルゲージ
- 3 セラミックダクト供試体
- 4 外側測定子
- 5 内側測定子
- 30 6 ターンテーブル
- 7 スライダーストッパー
- 8 ゲージ駆動ハンドル
- 9 支柱
- 10 ダクト台
- 11 ゲージ紐
- 12 ダクト押しネジ
- 13 傾き調整ネジ
- 14 スライダーシャフト

【図1】

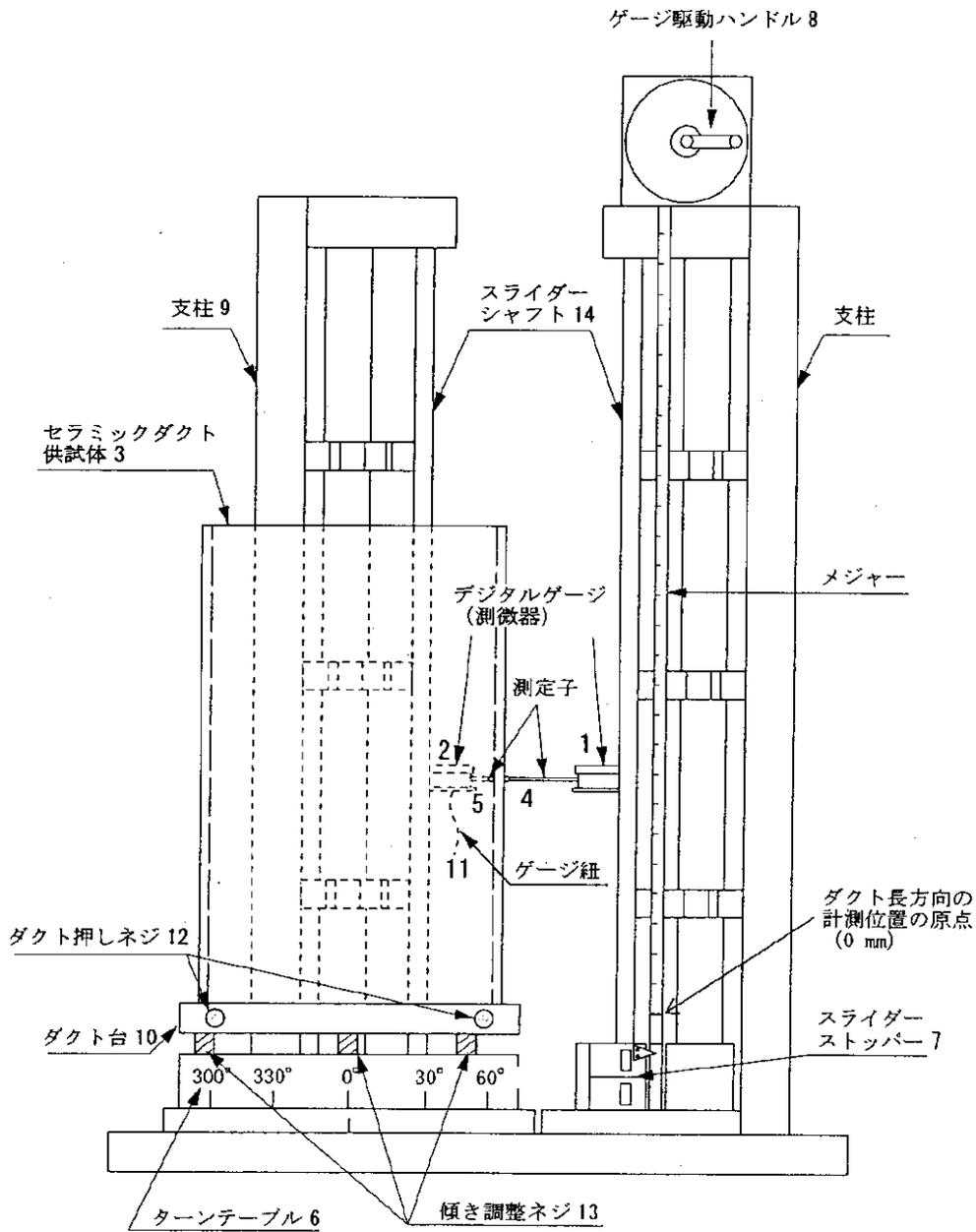


図1 ダクト真円度計測機の構成としくみ

【図2】

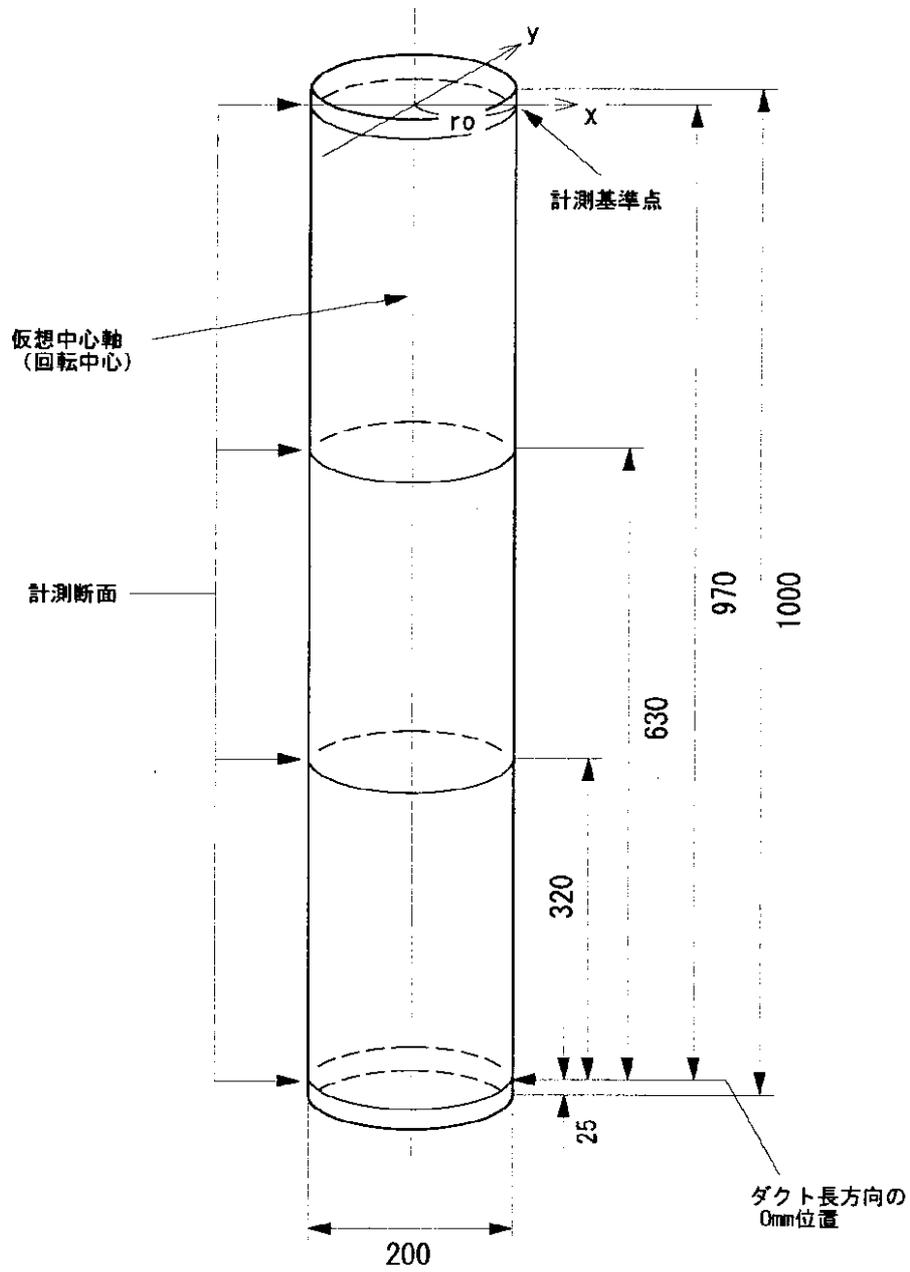


図2 ダクト長方向の計測断面 (例)

【図3】

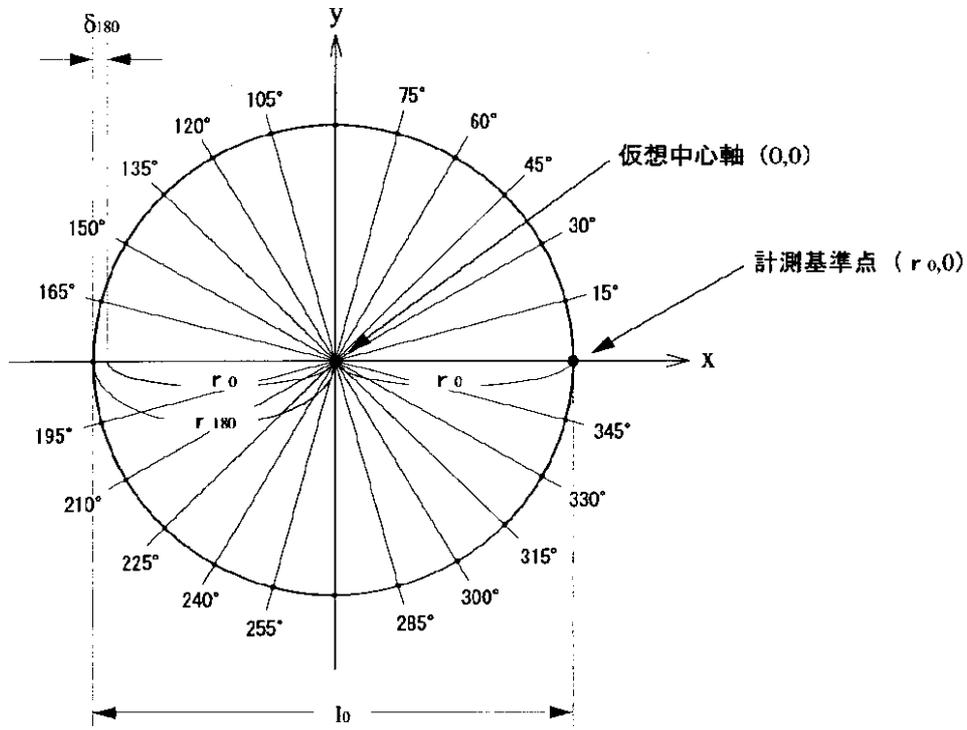


図3 計測断面円周上の計測点(計測角度)

【図4】

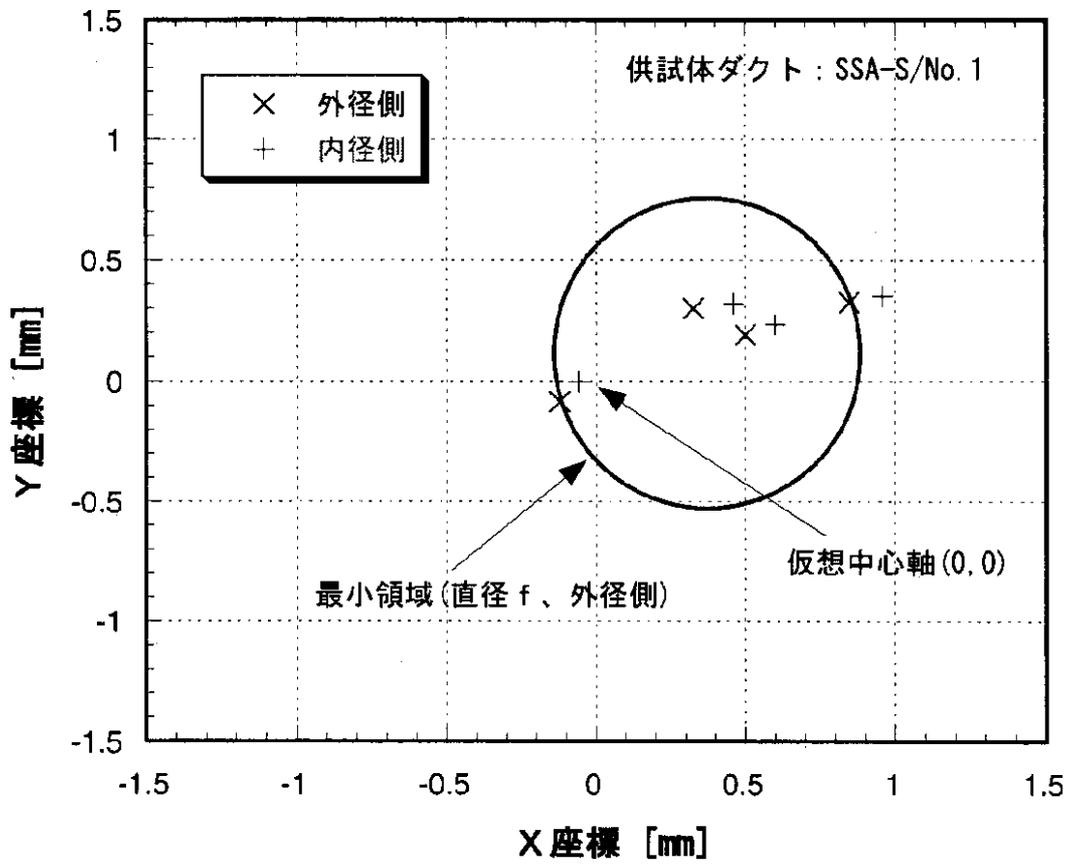


図4 最小領域法による円筒軸真直度の求め方

【図5】

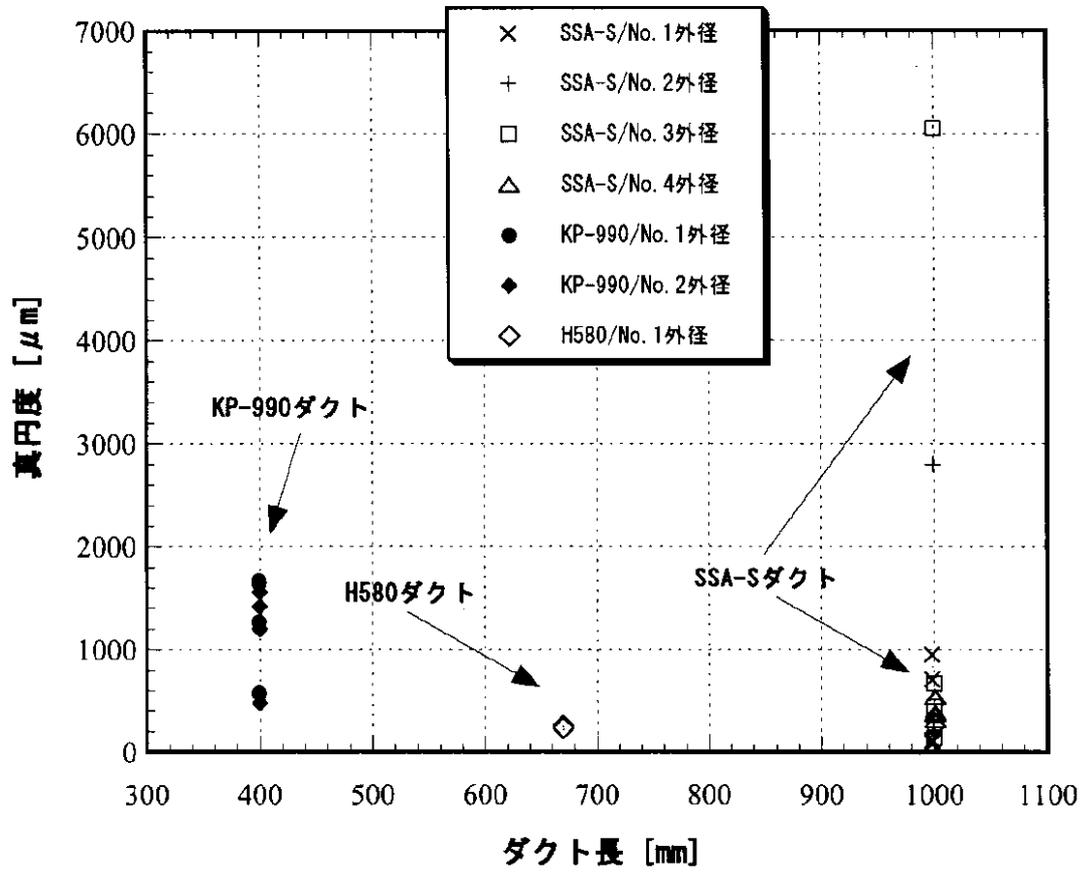


図5 セラミックダクト真円度のダクト長依存性

【図6】

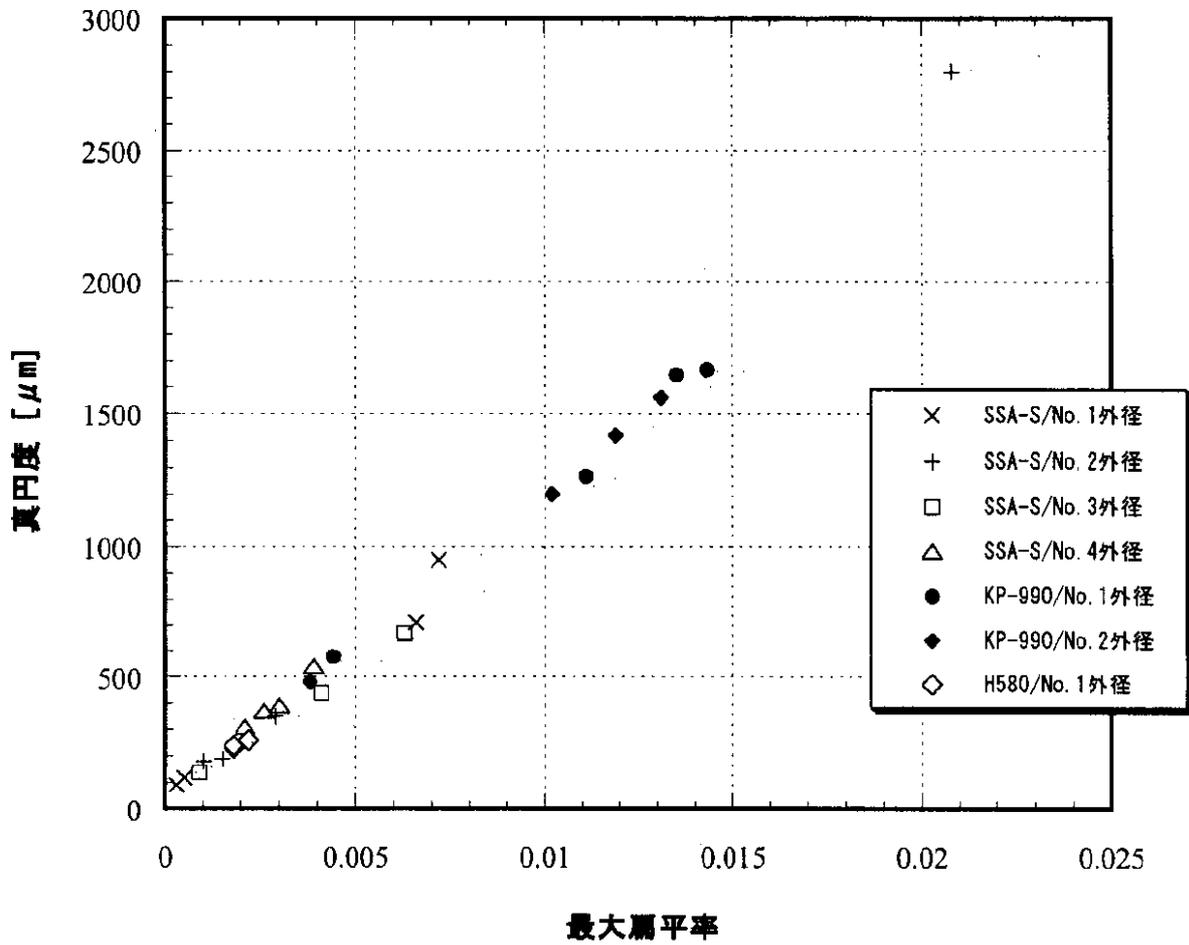


図6 セラミックダクト真円度の扁平率依存性

【図7】

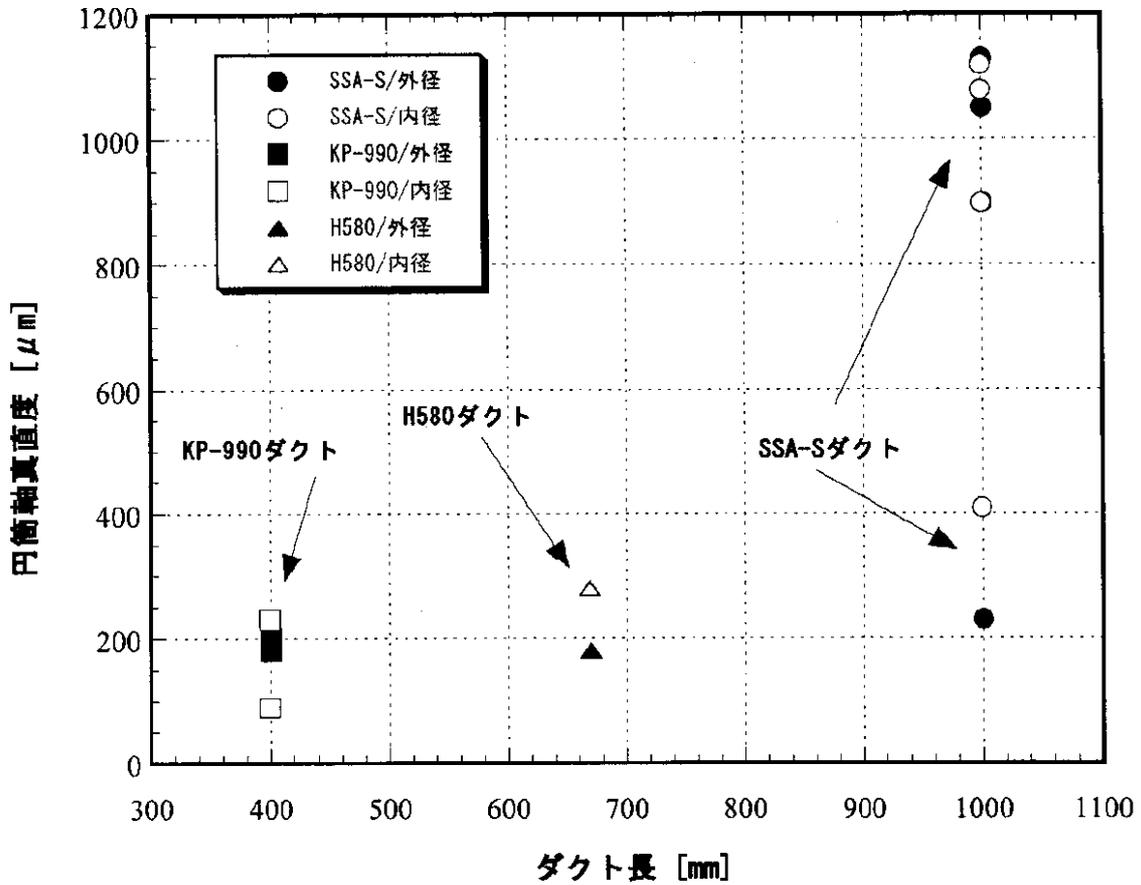


図7 セラミックダクト円筒軸真直度のダクト長依存性

フロントページの続き

(72)発明者 金正 倫計
 茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4
 日本原子力研究所東海研究所内

(72)発明者 金澤 謙一郎
 茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4
 日本原子力研究所東海研究所内

(72)発明者 齊藤 芳男
 茨城県つくば市大穂1-1 高エネルギー
 加速器研究機構 加速器研究施設内

(72)発明者 久保 富夫
 茨城県つくば市大穂1-1 高エネルギー
 加速器研究機構 加速器研究施設内

(72)発明者 佐藤 吉博
 茨城県つくば市大穂1-1 高エネルギー
 加速器研究機構 加速器研究施設内

Fターム(参考) 2F062 AA01 AA12 AA55 AA57 AA81
 BB04 CC27 EE03 EE47 EE63
 FF03 FF17 FF23 FG08 GG18
 HH05 JJ01 JJ08 JJ09 LL07