

第3章 実験装置及び測定方法

3.1 まえがき

本章では、インデューサ付き遠心ファンの空力特性および騒音特性を実験的に明らかにするために使用した実験装置とその測定方法について示す。まず、2節では実験装置の概要を、3節では実験方法を、4節では供試羽根車の形状について示す。

3.2 実験装置の概要

図 3-1 にクリーンモジュールユニット (CMU) の実験装置の概要を示す。吸込み側には入口ノズルが取り付けられており、さらにその上に危険防止用の金網が設けられている。空気の流れは金網を通過した後、入口ノズルを通り、羽根車に流入する。羽根により転向されて、加速されながら羽根車から流出する。その流れはケーシングに衝突して転向され下流に設置されたフィルタを通過して機外へ流出する。この機器の寸法は縦 610mm、横 610mm、高さ 140mm である。搭載されるフィルタは、縦 610mm、横 610mm、高さ 50mm の HEPA フィルタであり、羽根車は DC ブラシレスモータで駆動される。

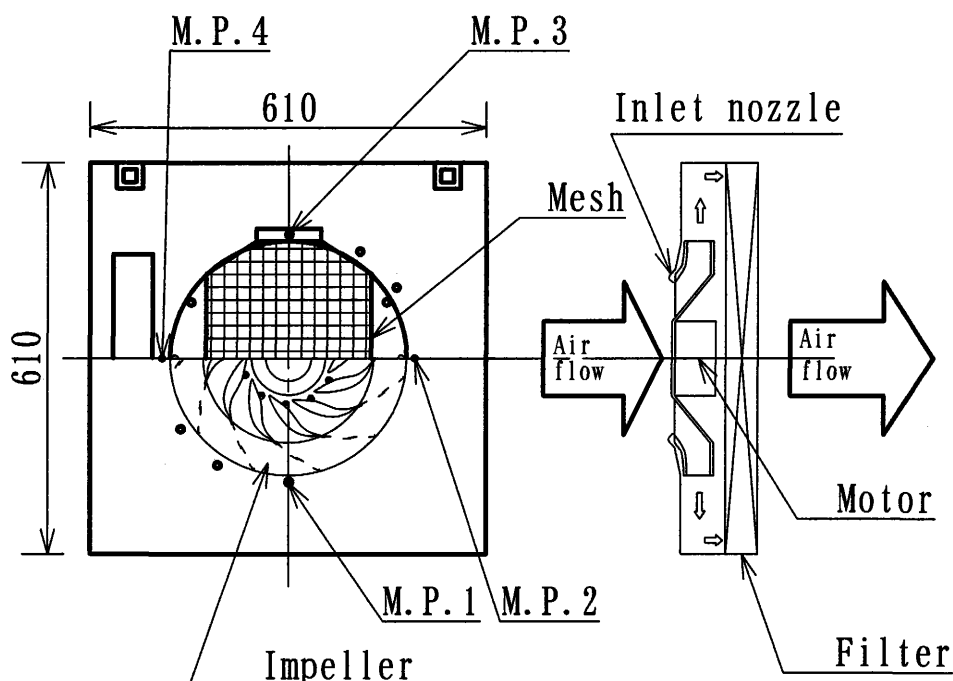


図 3-1 実験装置概略図

空力特性は、プレナムチャンバで行った。流量は補助送風機の下流に設けたオリフィスで測定し、圧力はプレナムチャンバの側壁で測定した。軸出力は電動機のトルク特性と電動機の回転数より求めた。

図 3-2 に羽根車出口における速度変動波形の測定システムの概略を示す。測定には熱線流速計を用い、測定位置は前述した流動様相の測定位置と同一である。測定はセンサーにより羽根車の回転を検出し、一回転ごとにこのセンサからの信号に同期させて熱線流速計からの信号を取り込み、32回の平均化をした。ここでは、熱線流速計の出力のうち変動成分のみに着目した。

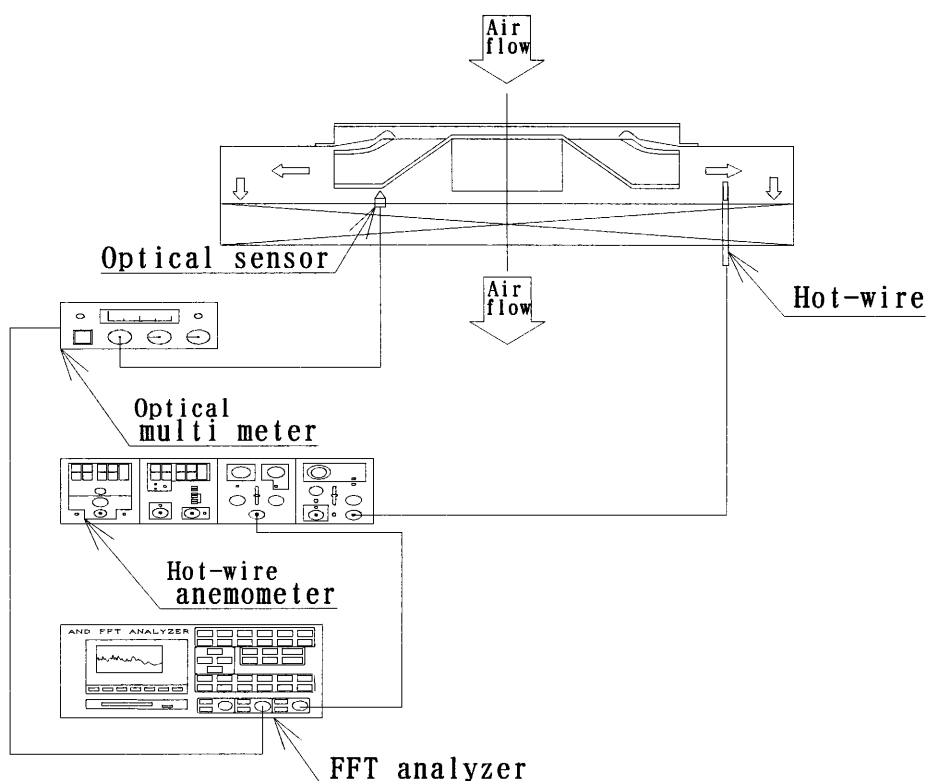


図 3-2 速度変動測定システム

3. 3 実験方法

騒音測定は図 3-3 に示すように羽根車の回転軸中心上の入口ノズル端から 1.0m 上流の点にマイクロホンを設置して無響室で行った。その点に設置した 1/2 インチコンデンサマイクロフォン付精密騒音計の出力信号を FFT アナライザーに入力し周波数分析した。周波数分析したデータ 30 回の加算平均処理を行なった後、出力している。なお、音圧レベルは工学的意味を考慮し L 特性と聴感補正を施した A 特性の両特性において測定を行った。

流動様相の計測はピトー管と熱線流速計を用いて、羽根車の半径より 10 mm 大きい半径位置の 4 断面 (90° 間隔 MP1~MP2 の 4 断面) を、スパン方向には約 5 mm 間隔に 8 点で行なった (図 3-1、図 3-5 参照)。測定結果は、4 断面の分布がほぼ同じであったので、それらの平均を用いて解析を行なった。

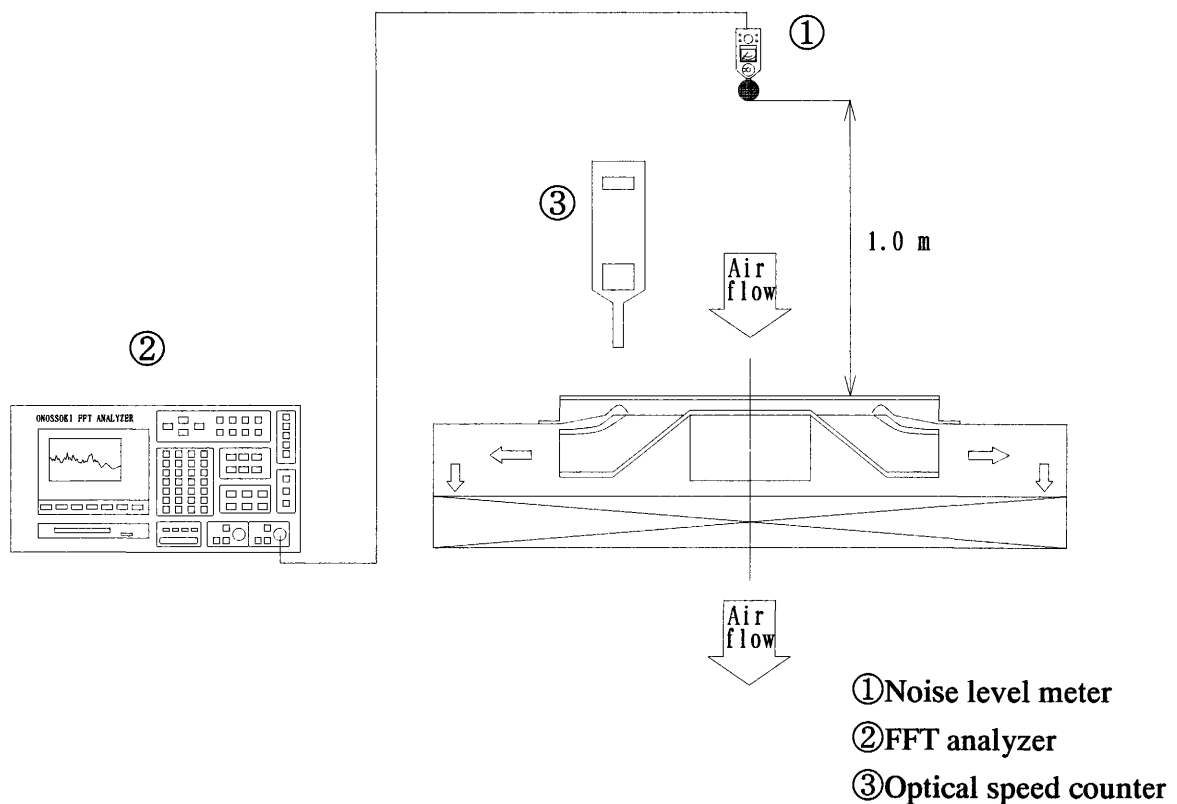


図 3-3 騒音スペクトルの測定システム

羽根車出口における流動様相測定の詳細を図3-4に示す。5孔球形ピトー管を図のようにフィルタを貫通して下流側から挿入した。5孔球形ピトー管の各圧力孔の圧力を pitot selector で切り替えてデジタルマノメータで読んだ。ピトー管の左右の圧力が等しくなるようにヨー角を設定した。

流動様相の測定は図3-5に示すように羽根車外径より10mm大きい半径位置をスパン方向に約5mm間隔に8点で行った。測定断面は外径より10mm大きくなっており、正確な羽根車出口の流れとは一致していない。しかし、羽根車出口から自由渦流れであるとする流れの循環が一定に保たれるので、 $\Gamma = 2\pi r_2 V_{u_2} = 2\pi r_P V_{u_P}$ より $V_{u_P} = r_2/r_P V_{u_2}$ となる。ここで添字 P はピトー管測定断面における状態を表す。また流量が保たれるので、 $Q = 2\pi r_2 b_2 V_{r_2} = 2\pi r_P b_2 V_{r_P}$ より $V_{r_P} = r_2/r_P V_{r_2}$ 従って速度は半径比の分だけ変化したものであるが、本羽根車では、 $r_2/r_P = 180/190 = 0.947$ となり5%程度とかなり小さい。また流れ角については、 $V_{u_P}/V_{r_P} = V_{u_2}/V_{r_2}$ となるので変化しない。そこで測定値を出口における特性量とした。

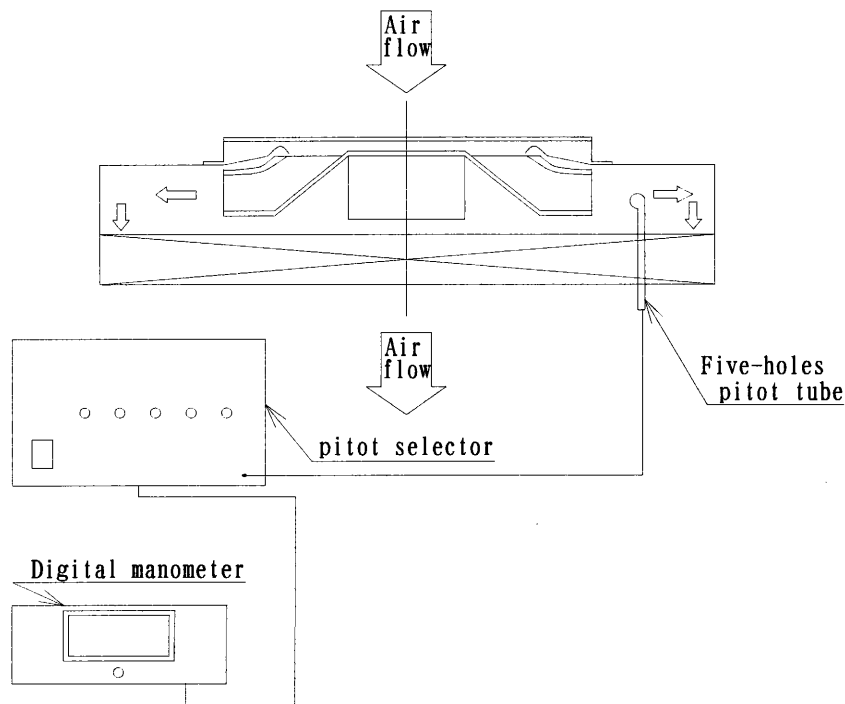


図3-4 流動様相の測定システム

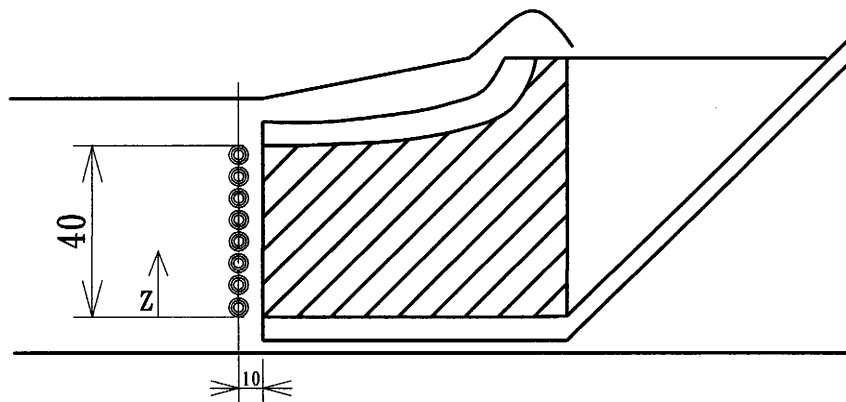


図 3-5 羽根出口の流動様相測定位置

漏れ防止を試みた方法の概略を図 3-6 に示す。本実験装置の場合、羽根車の口金とベルマウス（入口ノズル）のすきまが大きいためこれを狭くすることで漏れ防止を試みた。狭くする方法としては口金の周りに約 5mm 幅で 8mm 程度の厚さのリングを取り付けた。

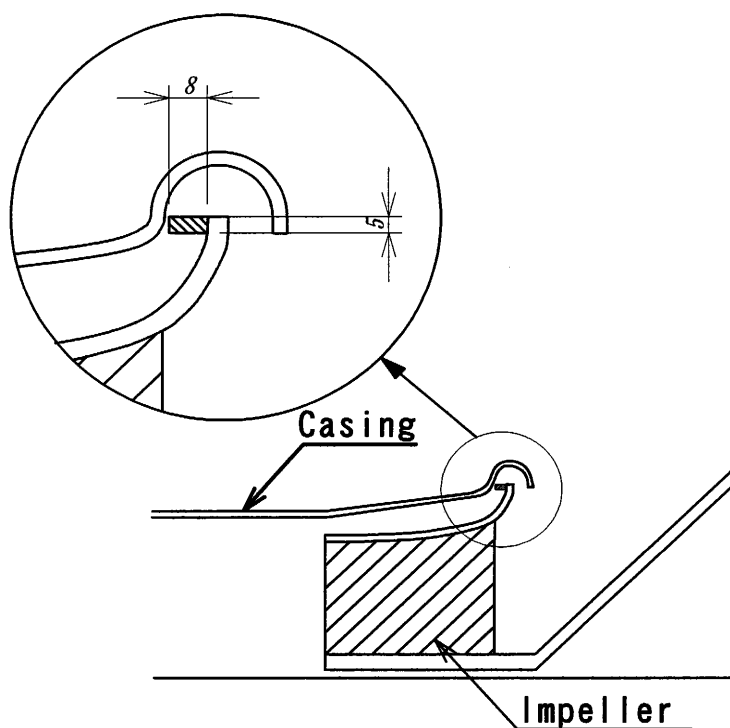


図 3-6 漏れ防止用実験装置概略図

3. 4 供試羽根車

3.4.1 基本羽根車の形状

一般的に遠心羽根車を設計する場合には、まず商品の大きさや構成を考えて、羽根外径、羽根高さなどを先に決定し、つぎに流量、圧力、回転数から効率等を考慮して流体力学的に最適な羽根入口角、羽根出口角、羽根枚数等の各パラメータを見積もっていく。

CMU の場合には、商品の外形の縦、横、高さの寸法が市場の要望により決まっているので、羽根車の外径と軸方向羽根出口幅が制限され、また羽根車主板もモータを収めるため目玉形状に盛り上げる必要がある。その条件のもとに、まず側板側の内外比を決定した。クリーンモジュールユニットの外形が $600 \times 600 \text{mm}$ であるので、ケーシングの容量を考えて羽根車直径は 360mm とした。モータを収めるための羽根車主板の盛り上がり寸法は、入口から出口まで断面積の変化の少ないように決定した。それにともない、内外比は、ファンの比速度はおよそ 300 である通常の遠心ファンの設計指針に基づくと 0.3 程度であるが、 0.736 とした。

3.4.2 インデューサの設計指針

インデューサ部の入口部は、子午面形状を考える際には、十分注意が必要である。工法面も考慮し、主板の盛り上がり上端周辺と羽根車のブレード側板側で主板に平行となるようにした。またインデューサ部の曲率は、インデューサ入口部での流入角に合致するよう径方向の各点で決定することを基本とする。ただ、側板とベルマウスのすきまからの漏れ量の影響を正確に把握することが難しいのでインデューサ入口部で乱れがないかタフト法などの可視化や解析で確認した。

インデューサの入口角度の算出にあたっては、図 3-7 の A 点から B 点までのラインを 5 等分し、各々の点に垂直な流速を風量より等分決定し、周速度より流入角度を決定した。BW12339 の羽根車の設計点での流入角の計算結果を表 3-1 に示した。流体解析などの結果と対比すると流れは、ほとんど無衝突に入ってきており、図 3-8 および図 3-9 のタフト法による可視化の状況を見ても、ベルマウス側の一部で逆流による乱れは見受けられるが、その他の乱れは少なくインデューサ入口部でもタフトは正負圧面ともに押し付けられることなく、わずかにゆれる程度で妥当な角度の設定と考えられる。これにより、インデューサの入口角度の設計は流入角度とほぼ合致させる方法がよいと考えられる。

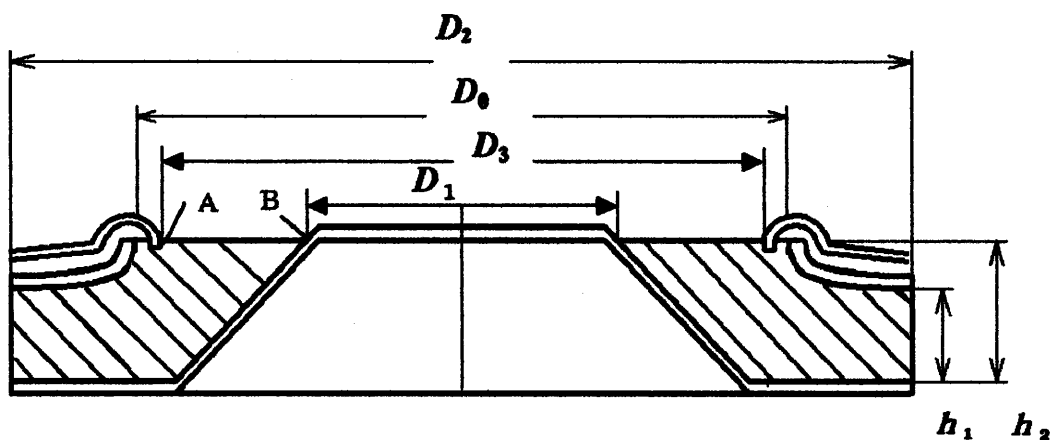


図 3-7 インデューサ付羽根車

表 3-1 インデューサの流入角度

吸込外径(mm)	周速度 (m/s)	入口軸流速度 (m/s)	流入角 (度)
257	14.13	5.09	19.8
234	12.86	5.09	21.6
211	11.60	5.09	23.7
188	10.34	5.09	26.2
165	9.07	5.09	29.3
142	7.81	5.09	33.1

回転数 1050rpm、ブルバス内径 D_3 (257mm)、プレート内径 D_1 (142mm)、風量 $11\text{m}^3/\text{min}$



図 3-8 正圧面側の可視化



図 3-9 負圧面側の可視化

図 3-12～3-18 は各供試羽根車の概要を示したものである。供試羽根車はいずれもアルミニウム製で、主羽根は二次元翼となっている。しかし、羽根入口にインデューサと呼ばれる三次元翼を設けた場合があり、その羽根車は名称に I が含まれる。その場合のインデューサ有無の写真を図 3-10 に示している。また、羽根車内径 265mm、羽根車外径 360mm、口金口径 257mm、入口スパン 48mm、出口スパン 40mm、羽根枚数 11 枚はいずれの羽根車も同一である。各羽根車の差異はインデューサの有無、入口角、出口角の違いとなっている。インデューサ形状はすべて同一となっている。羽根車名称の BW は後向き羽根車を示す。また 4 桁の数字中の前方 2 桁は入口角の角度を、後方の 2 桁は出口角の角度を示す。表 3-2 に各羽根車の主要諸元を示す。その際図 3-11 に羽根車各寸法の定義を示す。



図 3-10(a)BW2939

図 3-10(b)BWI2939

図 3-10 羽根車写真

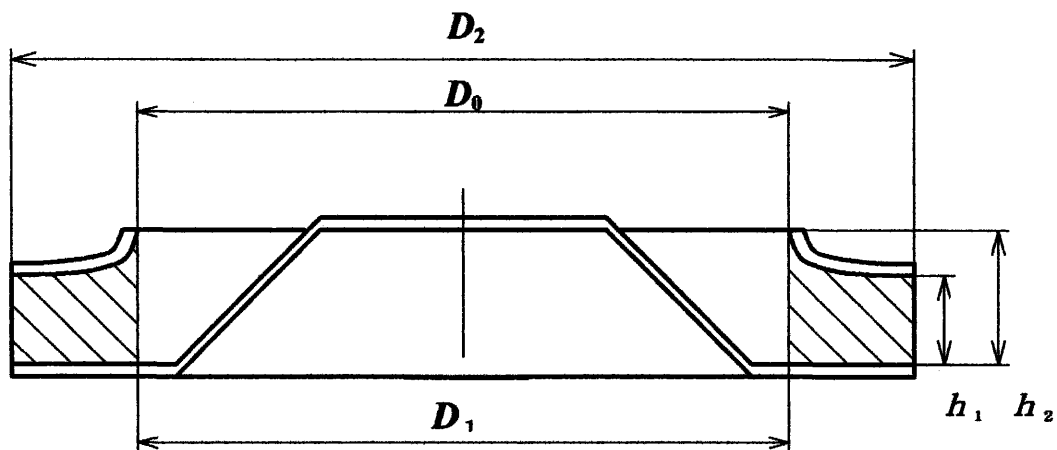


図 3-11 羽根車各寸法の定義

表 3-2 羽根車主要諸元

羽根車	BW2939	BW2039	BW2090
羽根材質	アルミニウム	アルミニウム	アルミニウム
インデューサの有無	無し	無し	無し
主羽根形状	二次元翼	二次元翼	二次元翼
翼枚数, B	11	11	11
羽根車内径, D_1 mm	265	265	265
羽根車外径, D_2 mm	360	360	360
口金口径, D_{0mm}	257	257	257
入口スパン, h_1 mm	48	48	48
出口スパン, h_2 mm	40	40	40
翼弦長, C mm	83	93	88
入口角, γ_1 deg.	29	20	20
出口角, γ_2 deg.	39	39	90

羽根車	BWI2923	BWI2939	BWI2965	BWI2990
羽根材質	アルミニウム	アルミニウム	アルミニウム	アルミニウム
インデューサの有無	有り	有り	有り	有り
主羽根形状	二次元翼	二次元翼	二次元翼	二次元翼
翼枚数, B	11	11	11	11
羽根車内径, D_1 mm	142	142	142	142
羽根車外径, D_2 mm	360	360	360	360
口金口径, D_{0mm}	257	257	257	257
入口スパン, h_1 mm	48	48	48	48
出口スパン, h_2 mm	40	40	40	40
翼弦長, C mm	103	83	64	55
入口角, γ_1 deg.	29	29	29	29
出口角, γ_2 deg.	23	39	65	90

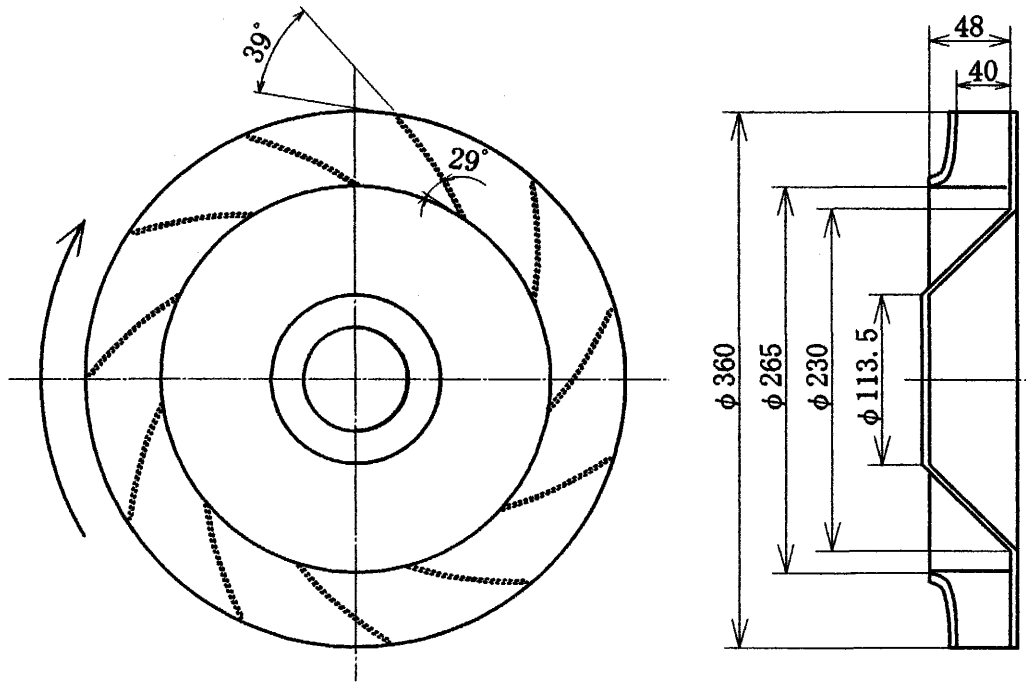


図 3-12 羽根車の概要 (BW2939)

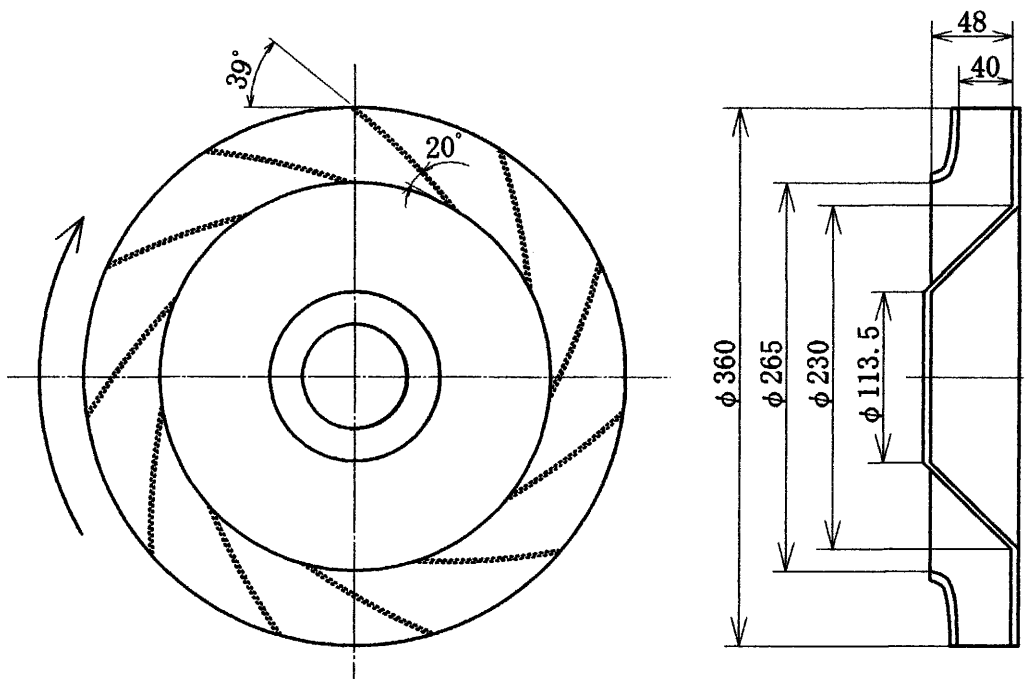


図 3-13 羽根車の概要 (BW2039)

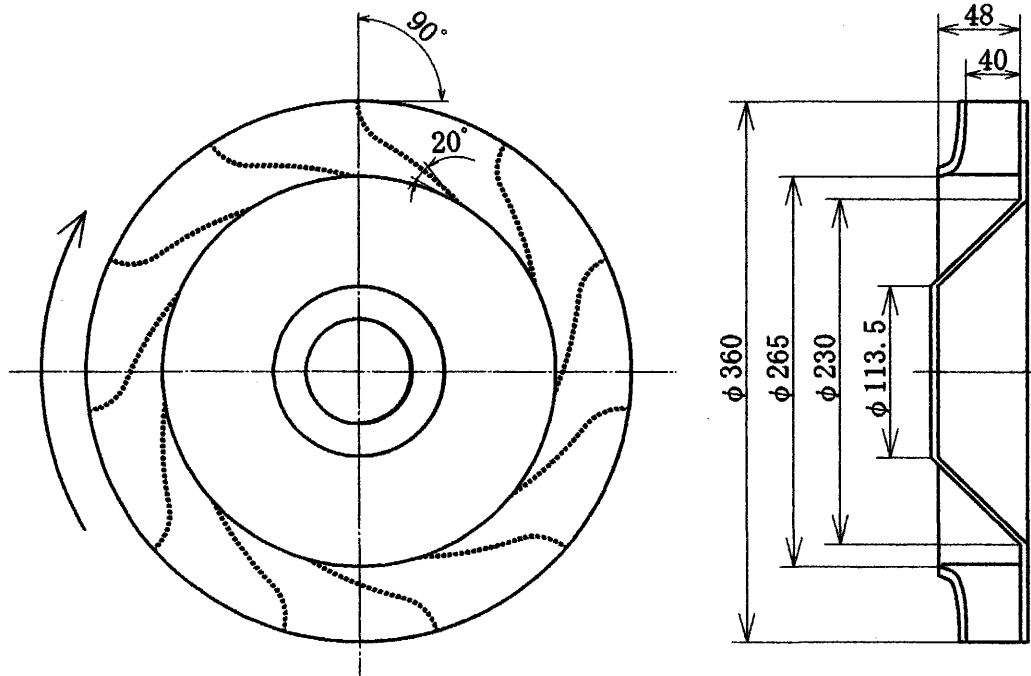


図 3-14 羽根車の概要 (BW2090)

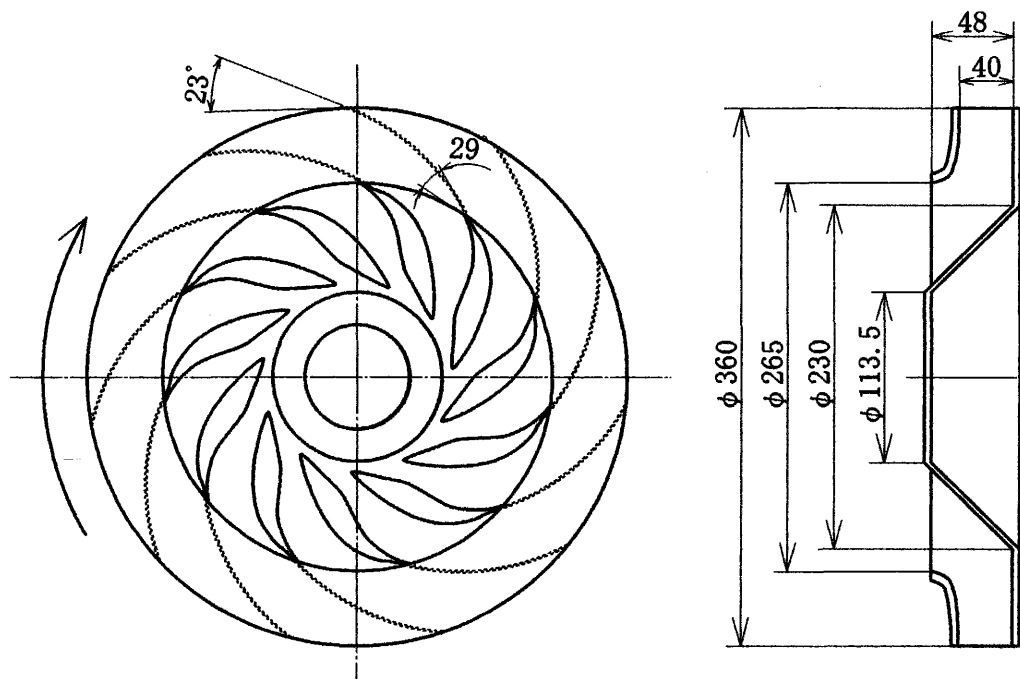


図 3-15 羽根車の概要 (BW12923)

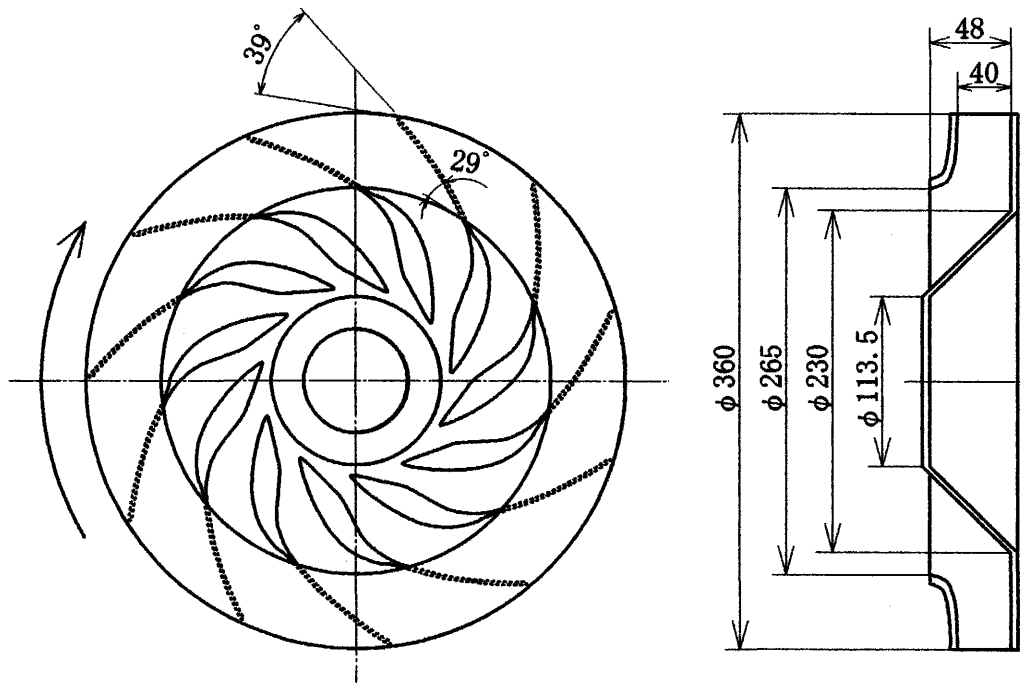


図 3-16 羽根車の概要 (BW12939)

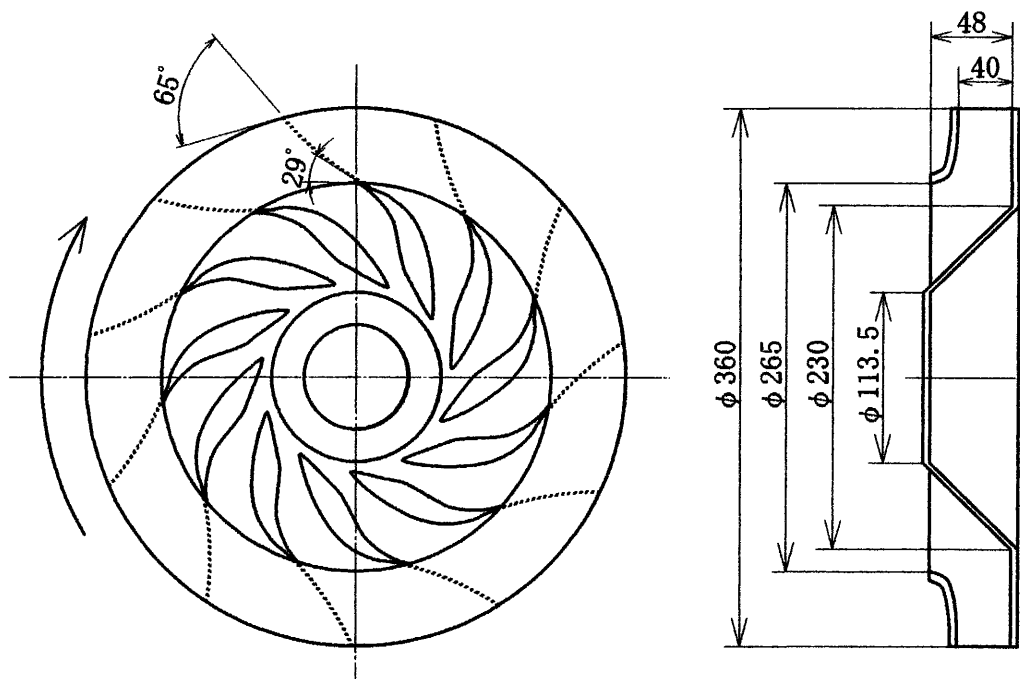


図 3-17 羽根車の概要 (BW12965)

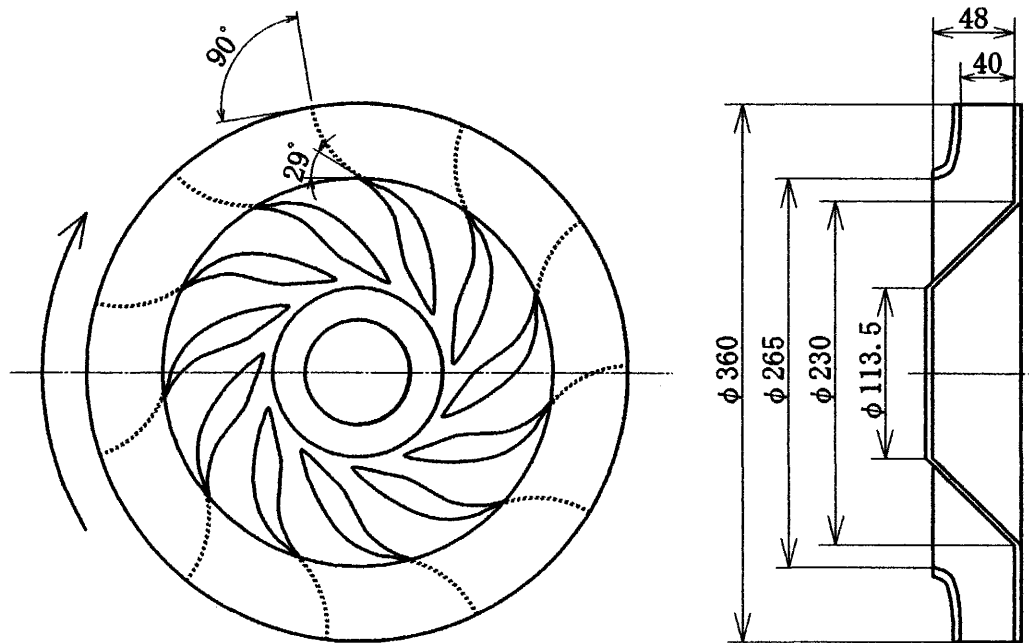


図 3-18 羽根車の概要 (BW12990)