

羽根車式攪乱装置の製作

中島孝¹、寺田秀雅²

筑波大学システム情報工学等支援室（装置開発班）

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

平面噴流のノズル出口部に、ノズル断面長手方向に位相の分布を持つような時間的周期的な微小擾乱を与え、噴流の広がりや混合を制御することを目的とした実験に攪乱装置を使用する。

従来、擾乱の付加装置として吸い込み吹き出しによる擾乱装置を用いたが、より製品化の容易な機構として羽根車方式を採用した攪乱装置を製作した。

軸受と歯車列が組み込まれ、もう一方には軸受が組み込まれている。平面噴流流路実験装置ノズル出口の大きさ30mm×300mmに対し、攪乱発生部の流路は30mm×290mmである。攪乱装置を設置したとき測定部付近の噴流に影響を与えないよう、攪乱発生部の流路面はもちろん外側にも出っ張りが無く、また流路壁面との隙間も出ないようにしている。

1. はじめに

筑波大学システム情報工学等支援室装置開発班では、システム情報工学研究科の各研究室から依頼を受け、各種実験装置の設計製作、機器の操作・保守管理、実験計測システムの開発、論理回路・計算機システム開発などを行っている。また学生実験用の装置製作・保守管理や実験補助等の教育支援も行い、研究教育両面において技術的サポートを行っている。本報告では、筑波大学システム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻の榊原研究室から依頼を受けて製作した羽根車式攪乱装置（以下、攪乱装置という）について、その概要と製作過程での創意工夫、苦心した点を紹介する。

榊原研究室では、平面噴流及び2次元せん断層に攪乱を与えることで渦構造を制御する研究を行っている。近年は、平面噴流初期せん断層にスパン方向・時間方向に周期的な攪乱を与え、その乱流場の速度成分をステレオPIV（Particle Image Velocimetry；3CPIV）法により計測し、噴流の3次元渦構造を可視化している。なお、平面噴流とは噴流の代表的な一形態であり、2つの2次元のせん断層を持つ流れのことである。この研究の中で使用する攪乱装置として、従来は注射筒を用いた吸い込み吹き出し方式を採用していたが、今回これより構造が簡単で大きさも縮小できる羽根車式の攪乱装置を設計・製作した。基本設計は依頼者が行い、筆者らが駆動部分の構造や部品の加工方法を考慮して変更を加え製作した。なお、本装置は実験において攪乱装置としての有効性が確認されている。

2. 攪乱装置の構造

攪乱装置は、大別して攪乱発生部と駆動部から成る。図1に攪乱装置の全体を、図2に攪乱発生部を拡大して示す。攪乱装置は平面噴流流路実験装置に設置され、攪乱発生部は測定部の水中に置かれる。攪乱発生部は羽根車、ハウジング、支持板から構成され、それぞれ1対ずつある。一方の支持板内には



図1. 攪乱装置全体



図2. 攪乱発生部

¹ E-mail: nakajima@sie.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-5195

² E-mail: terada@sie.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-5195

平面噴流流路実験装置は、上部タンク、下部タンク、助走部、ノズル部、測定部から構成されている。水を作動流体とした流れをつくり、さらに整流してノズルで縮流加速し、平面噴流として測定部に流出させるものである。攪乱装置は測定部内のノズル出口の両側に設置される。図3は、平面噴流流路実験装置（上）と攪乱装置を設置した測定部（下）の様子である。図4は攪乱装置の設置イメージを示したものである。羽根車はハウジング内に収められ、羽根のみが流路内に出てノズル出口付近の流体に作用する。

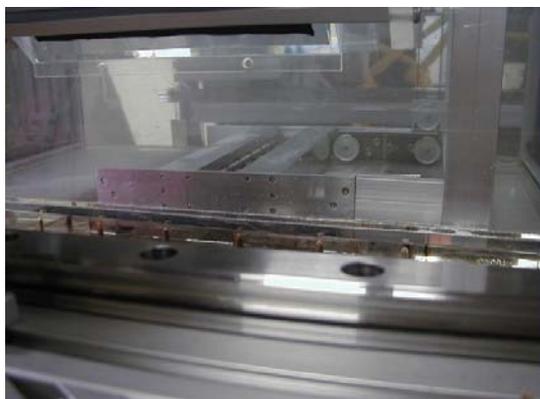
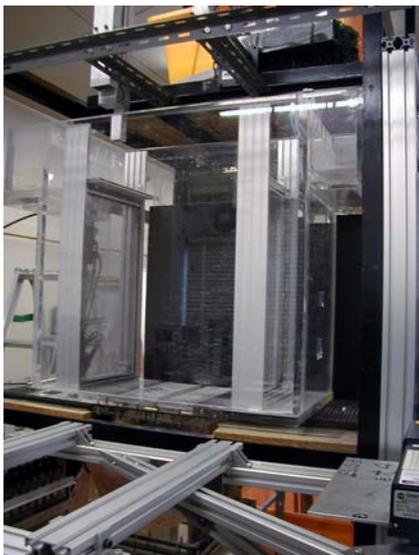


図3. 平面噴流流路実験装置

羽根車は軸と羽根で構成され、2つの支持板内の軸受で支持される。羽根車の羽根形状は、図5 A, Bに示す2種類である。また羽根枚数および取付け位置は図6に示すように2枚（形状A）と4枚（形状B）があり、4枚のものには軸円周上4等分の90°位置に配置したもの、内2枚を45°ずらして配置したものがある。この3種類の羽根車は、羽根の枚数および取付け位置のパラメータを変えて実験が行えるよう、交換が容易な構造となっている。

羽根車の駆動および制御の仕組みは、以下のようにになっている。羽根車軸に取付けた歯車と支持板内の歯車列を噛み合わせ、さらにハウジング外部の歯車、タイミングプーリに連結し、タイミングベルト

を介して水の外に設置したモーターに接続される。これによりモーターの動力が羽根車に伝達される。

3. 部品の加工と創意工夫

3.1 ハウジングの加工

ハウジングは、アルミニウム製で外形寸法が30mm×30mm×292mmの細長い形状をしており、羽根車を挿入する穴が偏った位置にあって一部が側面で開口している。筆者らはハウジングを製作するにあたり、この形状を一体型で製作することが可能かどうか検討した。加工上問題となった点は

- ・深穴(φ16×292mm)の加工
- ・端面の歯車逃げ溝と支持板取付けネジ加工

の2点であり、使用する機械や工具を考慮して加工方法を検討した。その結果、一体型で製作するには無理があると判断し、3分割で製作することにした。

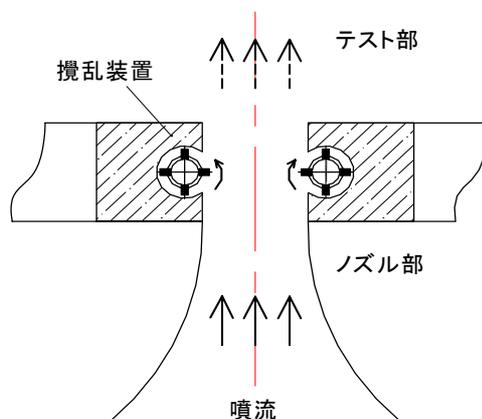


図4.攪乱装置の設置イメージ

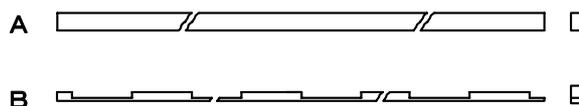


図5. 羽根の形状

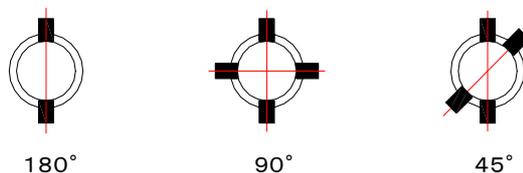


図6. 羽根の取付け位置

加工工程は以下のとおりである。図7にハウジング加工のながれを示す。

1) 旋盤加工

- ・φ60（外接円径）の円筒を3種類計6本製作、外径ならびに接合部の寸法精度を確保
- ・φ16の穴はバイト加工

- 2) フライス盤 1 次加工
 - ・ $\phi 16$ の開口面に 5 mm、他 3 面は 1 mm の仕上げしるを残して角型に加工
 - 6 本ともに各面の寸法精度を確保
 - ・ 4 本の端面に歯車逃げ溝およびネジを加工
 - ・ 3 本 1 組として連結、各接合部をアルミ製のピン（別に製作）で固定、 $\phi 16$ 開口面に 1 mm の仕上げしるを残して切削
- 3) フライス盤仕上げ加工
 - ・ $\phi 16$ 開口面を除く 3 面を仕上げ、最後に開口部分を仕上げ加工

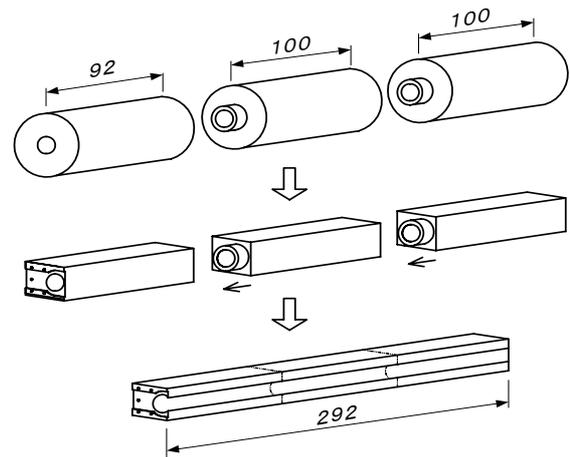


図 7. ハウジング加工のながれ

3.2 羽根車の加工

羽根車軸の寸法は直径 10 mm × 全長 298 mm、両端の支持部は直径 8 mm である。図 6 に示した羽根取付け位置の違うものを 3 種類製作した。材質は SUS 304 で、2 本 1 組計 6 本製作した。

羽根は厚さ 2 mm、高さ 3 mm、全長 290 mm で図 5 に示したように細長い形状をしている。特に羽根 B は一部が高さ 1 mm と極端に細くなっており非常に弱い。このため切削による加工は難しく、多くの加工時間が必要であり効率も悪い。羽根の必要枚数は形状 A が 4 枚、形状 B が 16 枚で合計 20 枚である。加工の精度と効率を考慮して加工方法はレーザービーム加工を採用した。学内に加工設備が無いため外注加工とした。羽根車および羽根の加工工程は以下のとおりである。



図 8. 羽根

- 1) 羽根車軸の加工
 - ・ 旋盤により SUS 304 の軸を 6 本製作、両端の支持部を加工
 - ・ 羽根取付け溝の加工、および歯車固定キーの位置決めと加工時の固定を兼ねた治具を製作
 - ・ フライス盤により軸円周上に幅 2 mm、深さ 1 mm、長さ 290 mm の溝を加工
 - ・ 歯車固定用のキー穴を溝位置に合わせて加工
- 2) 羽根の加工
 - ・ 加工方法を検討（切削加工不適と判断）
 - ・ レーザービーム加工により製作
 - ・ 加工時の熱ひずみ（反り、曲がり）の修正

図 8 はレーザービーム加工により製作した羽根である。なお、製作した羽根車軸と羽根の接合にはエポキシ系の接着剤を使用した。

3.3 支持板と歯車の加工

羽根車の支持およびハウジングの固定は 2 枚の支持板（R、L）で行う。支持板は攪乱発生部を最大限広く確保するため板厚をできるだけ薄くすることが必要である。板厚は歯車列を収める支持板（R）が 6 mm、支持板（L）が 4 mm である。支持板（R）には大小 7 枚の歯車を配置するスペースとして深さ 2.2 mm の溝を加工した。

羽根車の運転回転数は最大で 1 Hz 程度かつ水中で使用されるため、既製のフッ素樹脂リング（ $t = 2$ 、 $\phi 12 - \phi 8$ 、）を軸受に採用した。これを 2 枚の支持板に 2 つずつ挿入した。

歯車は大歯車 3 枚、小歯車 4 枚の計 7 枚を支持板（R）内に配置した。大歯車は各羽根車軸に 1 枚ずつ、小歯車は両羽根車間に 2 枚、さらに羽根車の外側に 2 枚を配置し、これにハウジング外の大歯車を噛み合わせる。小歯車は流路面に出っ張らないよう、かつ回転できるように支持板（R）に固定する。羽根車は実験条件により交換する必要があるため、大歯車は羽根車軸に対し着脱可能な取付け方法を採用した。なお歯車は市販の平歯車（教育歯車工業製、S50B 40A-0208、S50B 20B+0303）を使用した。

小歯車には回転かつ固定が可能な軸を考案し製作した。歯車および軸の加工内容は以下のとおりである。図 9 に製作した羽根車、ハウジング、支持板（R、L）、図 10 には支持板と歯車列の配置を示す。

- 1) 支持板の加工
 - ・ 小歯車の固定方法を検討
 - ・ 軸受穴と歯車取付け位置の精度を確保
- 2) 歯車の加工
 - ・ 大歯車のキー加工
 - ・ 小歯車ボス切除（厚さ 2 mm）、軸穴を加工
- 3) 小歯車用軸の製作
 - ・ 歯車支持、固定用軸の製作（SUS 304）
 - ・ テフロン樹脂リングを製作、歯車と軸の間に挿入
 - ・ 歯車軸、テフロン樹脂リング、歯車の組込みと取付け

図 11 は小歯車と固定軸および支持板（R）との固定方法を、図 12 は歯車の加工前後の状態を示す。



羽根車



支持板 (R, L)



ハウジング

図9. 羽根車、ハウジング、支持板

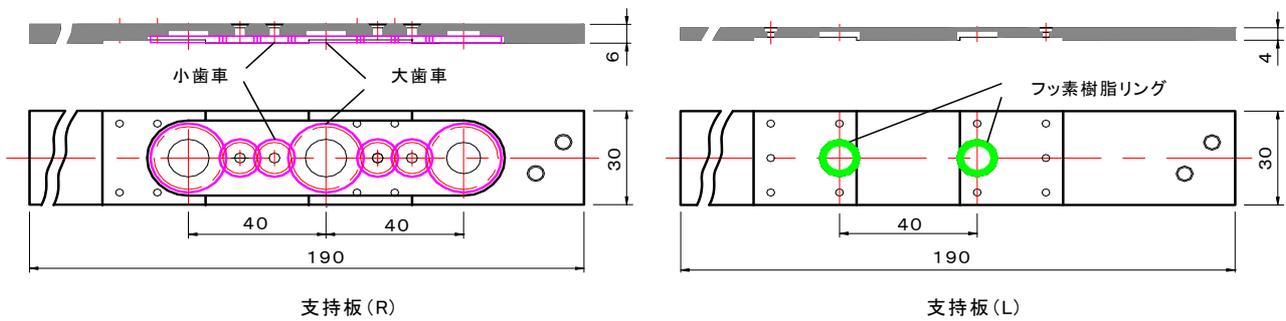


図10. 支持板と歯車の配置

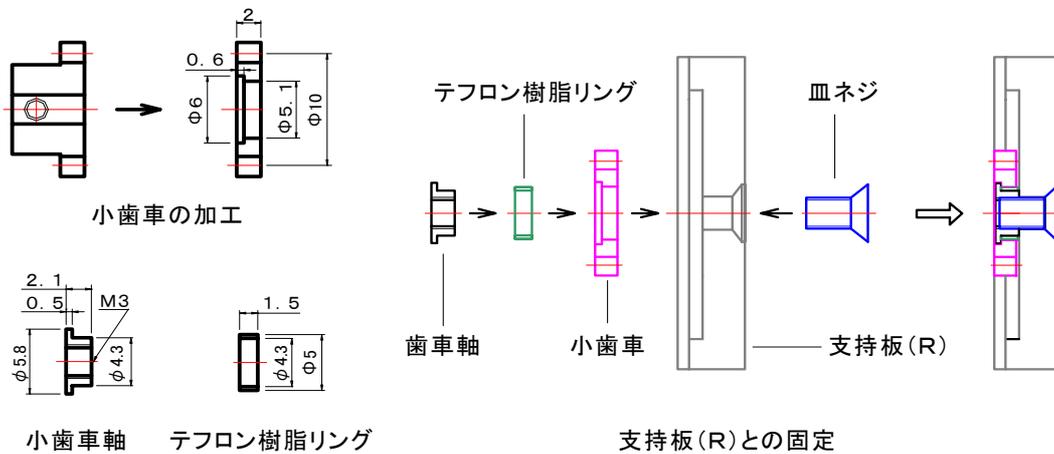


図11. 小歯車と固定軸および支持板 (R) との固定方法

4. まとめ

製作した攪乱装置は、卒業研究の実験に使用され攪乱装置としての有用性が確認されたとの報告を受けた。今回の装置製作で工夫、苦心した点を以下に述べる。

4.1 部品加工における工夫

部品の形状・寸法および材質を考慮して加工工程を検討、以下の工夫をして製作を行った。



図12. 歯車の加工

- 1) ハウジングの加工
 - [検討] 約300mmの深穴加工と両端面のネジおよび溝の加工
 - [工夫] 通常使用する工作機械および工具を考慮
3分割で前加工 → 接合して一体化
→ 仕上げ加工 という方法を選択
- 2) 羽根車軸の溝加工
 - [検討] a. 溝の加工位置およびキーの位置決め
b. 材質SUS304、幅2mm、深さ1mm、加工長290mm、の溝加工における切削油の給油方法
 - [工夫] a. 溝の位置決め・固定用治具の製作
b. 切削油の自動給油装置がなく刷毛付けでの作業 → 工具の磨耗・破損を抑える給油方法を検討 → 切削油としてタッピングスプレーを使用
- 3) 歯車の固定の方法
 - [検討] a. 支持板(R)と小歯車の固定
b. 羽根車軸と大歯車の着脱方法
 - [工夫] a. 狭小スペース内での歯車の回転と固定が可能な軸を考案
b. 羽根車軸と大歯車にキーを加工、回転方向の固定と着脱を可能にした

図13は羽根車軸加工の様子である。



図13. 羽根車軸の加工

4.2 装置製作について

筆者らは装置製作の依頼を受けた場合、設計製図、部品の加工、組み立て、動作テストまで一連の作業を行い、依頼者が要求する性能を確保できたか確認している。実際の使用において正常に動作しなければ製作完了とはならず、必要な性能が発揮出来てこそ装置の完成と言える。研究実験装置の製作では試作的なものが多く、研究者が必要とする装置の機能が明確でない場合もある。

今回の攪乱装置も依頼を受けた段階では製作方針がはっきりしておらず、設計者とともに装置の構造や機能の検討を重ね、また筆者らが利用する工作室の状況および製作費用と完成までの期間を考慮し、設計の見直しと加工工程の検討を行った。攪乱装置は卒業研究に使用する目的で製作されたが、依頼から完成までの期間が短くかなり厳しい状況であった。

このように、依頼を受けてから完成までかなりの時間を要する場合も多く、それに応えるためより一層の技術向上が必要であると感じている。自ら製作した研究用の装置・機器が研究に寄与できた時、初めてその責任を果たすことができる。そしてその苦勞が大きければ大きい程技術の向上があり、また達成感を得ることが出来る。

謝辞

本報告にあたり、システム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻・榊原潤助教授には報告書作成指導を頂き、装置の設計者である同研究室理工学研究科2年大宮平氏、同1年山田智子氏には資料の提供など協力を頂いたことに感謝いたします。

参考文献

- [1] 山田智子、羽根車式攪乱装置による平面噴流の制御、平成15年度筑波大学 工学システム学類卒業論文(2003)