

研究室紹介

金沢大学 理工学域 機械工学類

流体工学研究室 木綿 隆弘, 山田 達郎

1. 金沢大学の紹介

金沢大学は、1862年に創設された加賀藩の種痘所を源流とし、第四高等学校、金沢医科大学、石川師範学校、金沢高等工業学校など様々な学校を前身校とする歴史と伝統を引き継いだ総合大学である。さらに、平成7年まで金沢城内にキャンパスがあった大学として世界的にも知られている。現在の学生数は約10,500



(a) 自然科学研究科棟



(b) アカデミック・プロムナード



(c) 講義室

図1 金沢大学角間キャンパス

人、教職員数は約2,600人である。また、大正9年に創設された金沢高等工業学校は工学部の前身であり、金沢市小立野にあった工学部も、平成19年8月に角間キャンパス南地区に移転し、医学部を除く、7学部が角間キャンパスに移転した。図1に示すような角間キャンパス南地区にある自然科学系の建物は、最新設備の整ったモダンな校舎で、金沢市中心部から車で約15分の山間にある新緑爽やかな風を感じながら心静かに勉学・研究に励める環境のキャンパスである。今年4月より、金沢大学は、従来の学部・学科制から3学域・16学類という学域学類制に改編し、「地域と世界に開かれた教育重視の研究大学」という理念のもと、新生・金沢大学として新たなスタートをきった。これに伴い、工学部は理学部と統合して理工学域として改組され、その中の機能機械工学科と人間・機械工学科の2つの学科が統合して機械学類が発足した。本学類は、大正9年創設の機械工学科と昭和35年設立の精密工学科を母体としており、1学年の学生数が140名、教職員数が72名となっている。なお、金沢大学の概要および紹介ビデオは下記URLを参照されたい。大学概要 <http://www.kanazawa-u.ac.jp/university/outline/> 大学ビデオ <http://www.kanazawa-u.ac.jp/university/movie/> 学類概要 http://www.kanazawa-u.ac.jp/collegeschool/23_mechanical/

2. 流体工学研究室の紹介

2.1 研究室の概要

流体工学研究室は、理工学域機械工学類(旧工学部機能機械工学科)に属し、現在、教職員4名(木村繁男教授、木綿隆弘准教授、小松信義助教、倉谷知宏技術職員)、ポスドク1名、博士後期課程2名(うち社会人入学2名)、博士前期課程14名、学部生9名で構成されている。本研究室では、航空宇宙のマクロな分野からMEMSのミクロな分野に至るまでの様々な流れの現象について、実験と理論の両面から、原子・分子、空気、水および混相流などの熱流体の諸現象を風洞や水槽装置等の各種試験装置やコンピュータを使用して、実験計測と可視化技術、数値シミュレーションにより解明を行っている。

2.2 主な研究設備

(1) 風洞実験装置

A. 多目的風洞システム： 図2に示す多目的風洞システムは、昨年10月に完成した新しい大型風洞である。本風洞は、密閉回流型、開放回流型、吹き出し型の3形態に組み替えることができ、地下に消音器が2台設置されており、風速 20m/s での騒音レベルが 50dBA 以下(開放回流型および無響音室設置時)の低騒音風洞であることが大きな特徴である。また、3軸方向に 1m 移動可能なトラバース装置を有している。密閉回流型において、最大風速は 35.0m/s、測定断面で風速の非一様性は $\pm 1\%$ 以下、乱れ強さは 0.5% 以下である。測定胴寸法は、幅 1250mm × 高さ 1250mm × 長さ 8000mm で、飛砂実験や境界層風洞としても利用可能な設計となっている。主に、風車性能、流体騒音や土木建設関連の実験などに用いている。

B. 吹き出し型低乱風洞： 図3に吹き出し型低乱風洞の全体写真を示す。測定胴寸法は幅 300mm × 高さ 1200mm × 長さ 2000mm、最大風速 30m/s、測定断面で風速の非一様性は $\pm 1\%$ 以下、乱れ強さは 0.3% 以下である。単独または複数の2次元模型実験や流力振動実験、翼列実験に適するように測定部断面は長方形となっている。主に、ブラフボディなどの構造物周りの流れ場計測や流力振動の実験にを行っている。

C. 小型風洞： その他の風洞として、密閉回流型小型風洞1台と吹き出し型小型風洞2台を有している。回流型小型風洞の測定部寸法は高さ 167mm × 幅 400mm × 長さ 800mm、最大風速は 25m/s、吹き出し型小型風洞の測定部寸法は高さ 320mm × 幅 160mm × 長さ 500mm、最大風速 27m/s で、もう1台の方は高さ 195mm × 幅 95mm × 長さ 500mm、最大風速は 20m/s である。主に学生実験などの学部授業用として使用している。

(2) 水槽実験装置

A. 回流式水槽： 図4に地下水槽からポンプで水を汲み上げて一様流を形成させる回流式水槽の概略図を示す。測定部寸法は高さ 400mm × 幅 167mm × 長さ 1000mm、流速は 0.2 ~ 2.4m/s である。主に配管内構造物の流力振動に関する研究に使用している。

B. 自走台車式水槽： 図5, 6に静止流体中を模型が移動して実験を行う自走台車式水槽装置を2つ示す。図5の流体力測定用水槽は高さ 400mm × 幅 700mm × 長さ 10m で台車速度は最大 30cm/s、図6の可視化用水槽は両側面アクリル窓になっており、高さ 460mm × 幅

440mm × 長さ 4m で台車速度は最大 10cm/s である。低レイノルズ数の模型実験に使用している。

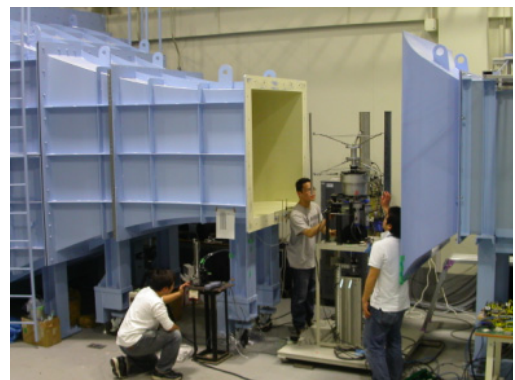
C. U字管振動流水槽： 図7に長さ 4250mm × 高さ 2500mm で、測定部断面が深さ 500mm × 幅 500mm の流路長さが約 7m のU字管振動流水槽を示す。水柱の長さで決まる固有振動周期は 3.75 秒であり、この周期に同期させてファンを ON-OFF 制御することで振動振幅を 11.5mm ~ 520mm まで変化させることが可能である。海洋構造物周りの流れと流体力に関する研究などを行っている。

(3) 恒温室

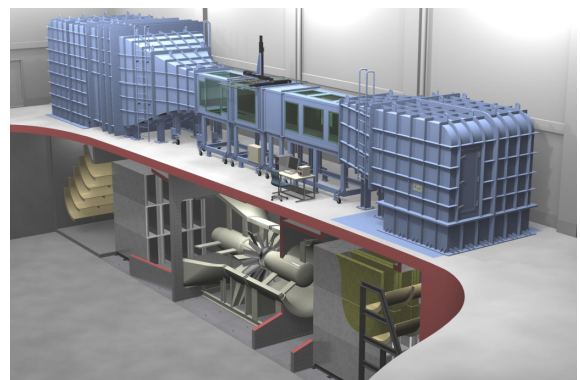
部屋の大きさは、高さ 2350mm × 幅 2700mm × 奥行き 3600mm で、温度範囲 15 ~ 30 で ± 0.5 の精度で任意温度に設定可能である。主に、地下水用流向流速プローブや凝固・融解現象の制御に関する研究などを行っている。

(4) 噴流装置

同軸噴流ノズル(直径 40mm)の空気流および水流の実験装置、長方形噴流ノズル(高さ 20mm × 幅 180mm)の実験を行う装置を有している。噴流の渦構造制御の研究などを行っている。



(a) 開放回流型に組み替えた場合



(b) 3次元概略図

図2 多目的風洞システム(風技術センター製)

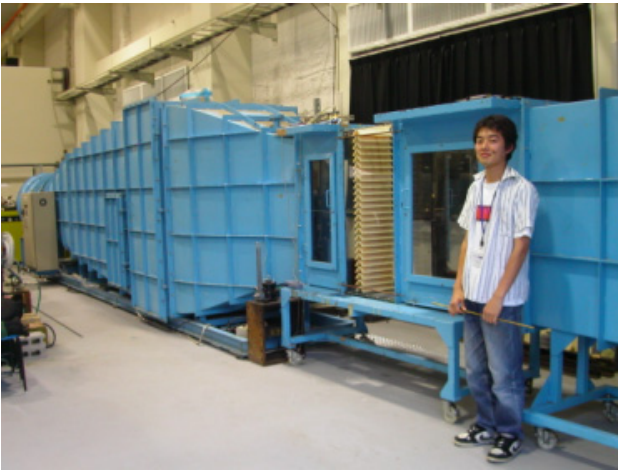


図3 吹出し型低乱風洞(日本カノマックス製)

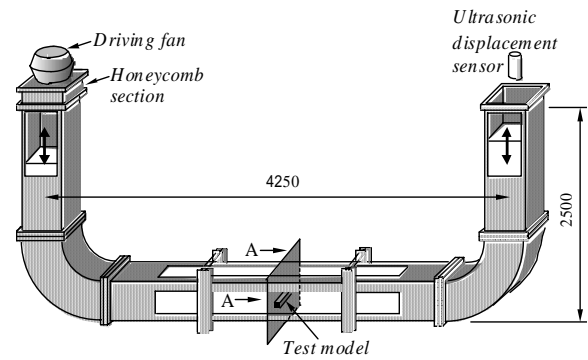


図7 U字管振動流水槽

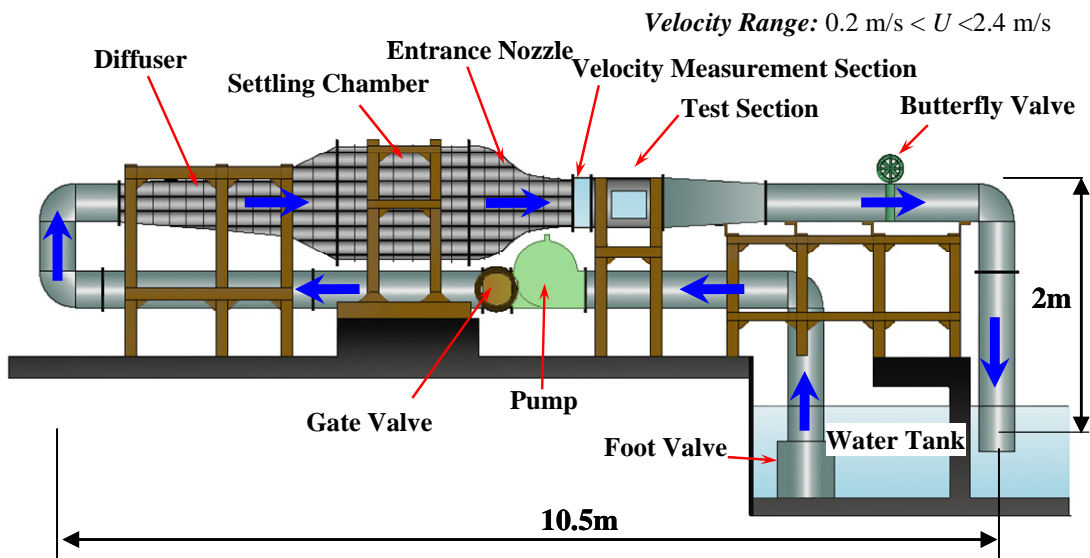


図4 回流式水槽

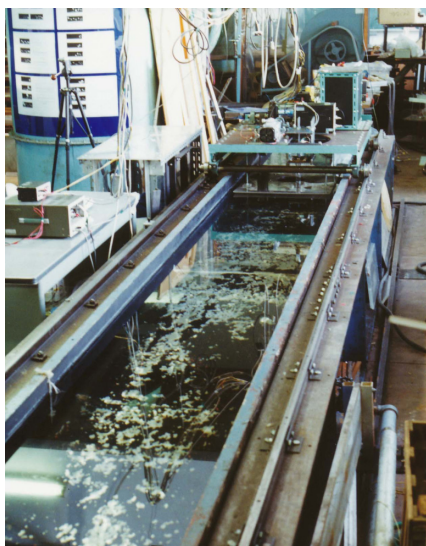


図5 流体力測定用自走台車式水槽装置

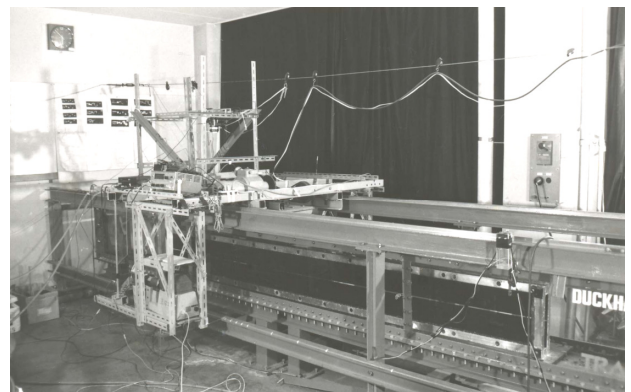


図6 可視化用自走台車式水槽装置

3. 流体力学研究室の主な研究内容

本研究室で行っている風車および風に関連する研究内容について以下に紹介する。

3.1 プロペラ式小型風車の性能特性と翼表面流れの可視化に関する研究

本研究では、プロペラ式小型風車の性能向上のための基礎データを得る目的として、図8,9に示すようなClark Y翼形あるいはMEL翼形から成る(風車直径1m)風車の性能特性の風洞実験を行った。また、実際に回転している風車ブレード表面上の流れの挙動は、油膜法とタフト法により観察した。さらに、ブレード表面の境界層を制御するため翼面に細いテープを貼って性能改善を試み、性能特性と流れパターンとの関係を調べた。図10は実験装置の概略図、図11は出力特性(周速比 λ と出力係数 C_p の関係)の測定結果である。 $V=4\text{m/s}$ の低い風速において、テープを翼に貼ると効率 C_p が向上している。テープの影響でブレード表面の流れが乱流境界層に遷移した効果が出ていると考えられる。このときの油膜法による流れパターンの一例を図12に示す。テープ後方の再付着部分が前縁側に移動しており、これが効率の上昇に寄与したと考えられる。図13はタフト法によりブレード先端部を可視化した結果の一例である。低周速比の迎角が大きい場合なのでブレード前縁側のタフトは、流入する風と同一の方向を

向いているが、後縁側のブレード先端付近のタフトは乱れ、外周方向に向いて立ち上がっていることがわかる。現在、風車を大学内の建物の屋上に設置して、フィールド実験を行っている。

3.2 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車に関する研究

本研究では、直線翼垂直軸風車の性能改善を目的として、可変ピッチ式の直線翼垂直軸風車の研究を行っている。図14に示すような4節リンク(両クランク)機構による可変ピッチ角機構を持つ直線翼垂直軸風車を新たに開発した。リンクの長さの組み合わせにより、直線翼の取付角と揺動振幅(振れ角)を任意に設定でき、各リンクパラメータを適切に選ぶことで風車性能が向上する。図15は、これまでに開発した100W級(直径800mm,翼スパン長800mm,翼形NACA63₄-221,翼枚数3枚,翼弦長200mm)と900W級(直径1670mm,翼スパン長2000mm,翼形NACA63₄-221,翼枚数3枚,翼弦長353mm)の可変ピッチ式風車である。実験装置概要を図16に示す。風車トルクは、風洞の風速を一定とし、モータにつながれた風車の回転数をインバータで制御し、トルク計を用いて測定した。この際に、風向と偏心リンクのなす角度である偏心角度 θ_p は、風下側の偏心角度 $\theta_p=0^\circ$ で固定した。図17に固定ピッチ(印)と可変ピッチ(印)のトルク係数 C_T と出力係数 C_p を比較したものを示す。可変ピッチ式風車



図8 供試風車

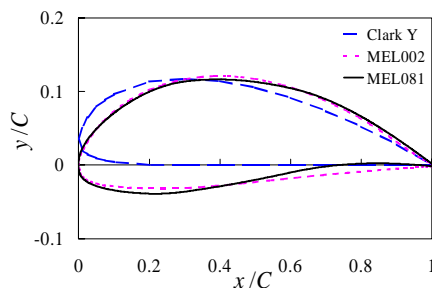


図9 供試翼

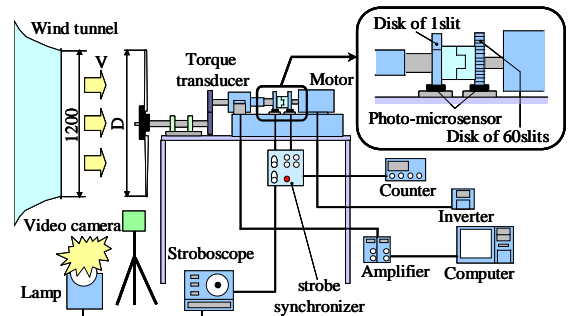


図10 実験装置概略図

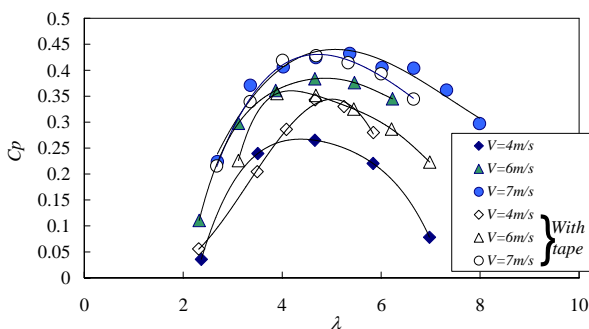


図11 出力特性

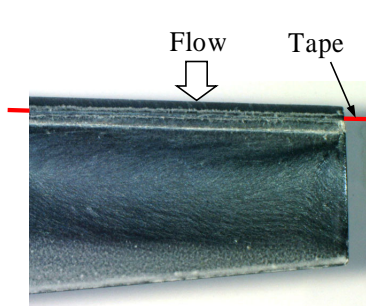


図12 油膜法

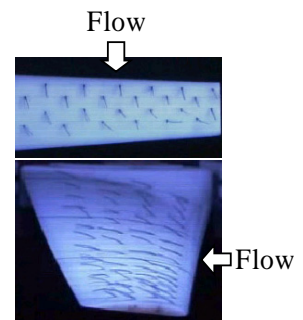


図13 タフト法

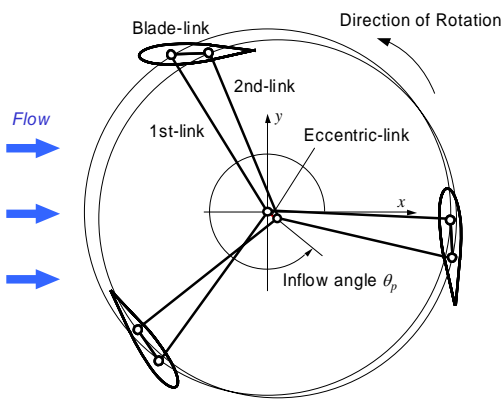
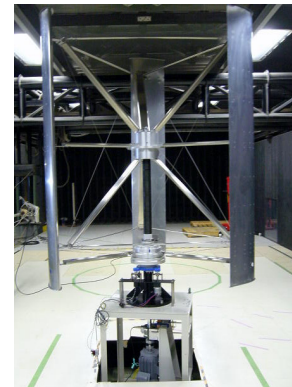


図 14 可変ピッチ角機構概略図



(a) FT1 号機(100W 級)



(b) FT2 号機(800W 級)

図 15 開発した可変ピッチ式直線翼垂直軸風車

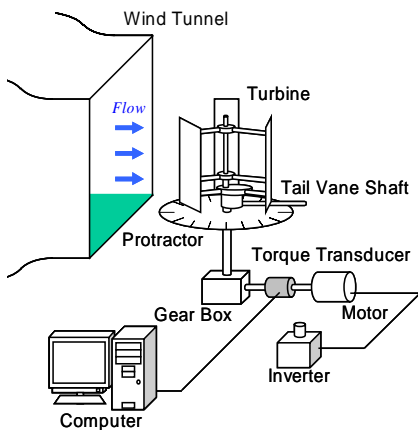


図 16 実験装置概略図

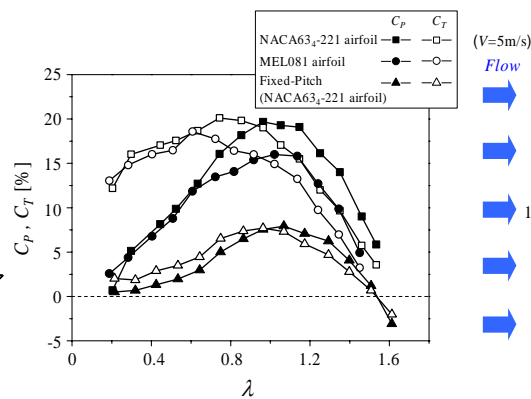


図 17 出力・トルク係数

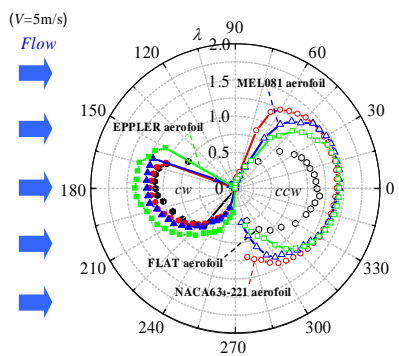


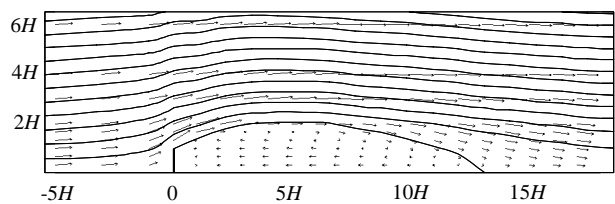
図 18 偏心角度特性

の出力係数が固定ピッチ式風車よりも高いことがわかる。また、 $\lambda < 1.0$ の低周速比域における可変ピッチのトルク係数は固定ピッチ式の約 3 倍向上しており、起動性にも優れている。これらのことから、可変ピッチ方式が直線翼垂直軸風車の性能改善に有効であると言える。図 18 は無負荷運転状態において風向に対する偏心リンクの固定位置である偏心角度 θ_p を変化させた場合の風車回転数を円グラフ状にプロットした偏心角度特性である。偏心角度 $\theta_p = 90^\circ, 270^\circ$ 付近において風車回転が停止しており、固定ピッチ式の垂直軸風車と異なり、本風車は風向に対する指向性がある。この特性は、強風時の風車回転数の制御に使用可能である。

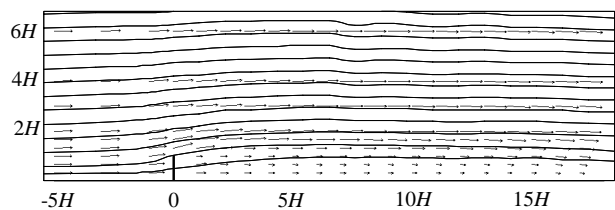
3.3 フェンス周りの流れに関する研究

冬季に強風にみまわれる地域の道路では、道路の側面に防風防雪用のフェンスを設置する場合が多い。本研究では遮へい率やフェンス形状が流れ場に及ぼす影響を風洞と数値シミュレーションで調べている。図 19 にスプリッタープローブで計測した各フェンス形状の速度ベクトル分布を示す。無孔板フェンスに比べて、

遮へい率 60% の有孔板フェンスでは再循環領域は形成されず、下流域でも十分に防風効果があることがわかる。



(a) 無孔板フェンス



(b) 有孔板フェンス

図 19 各フェンス形状の流れ及び速度ベクトル分布図

3.4 ブラフボディから発生する空力音に関する研究

列車や自動車の高速化に伴う風切り音やコンピュータの空冷ファンなど流体関連機器において流体騒音を低減することは重要な技術課題である。本研究では基礎研究として、角柱や円柱といったブラフボディから放射される流体音を風洞実験による計測と、ブラフボディ周りの乱流場を LES による数値解析を行い、流体力変動と Curle の式を用いて放射される音圧レベルのスペクトルを数値的に予測し、角柱の断面比による流れパターンの違いと音圧レベルの変化との関係を調べている。図 20 は数値シミュレーション結果の例であり、正方形柱周りの渦度分布と空力音のスペクトル分布を示したものである。

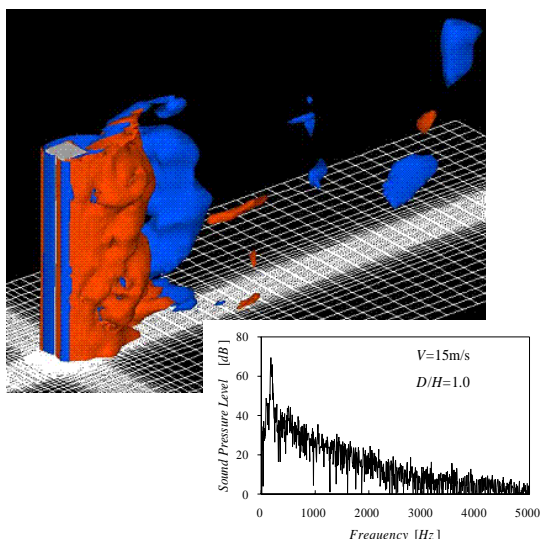


図 20 正方形柱周りの渦度分布と空力音のスペクトル分布

3.5 森林内乱流構造に関するフィールド実験

近年、環境問題がクローズアップされ、大気中での様々な物質の乱流拡散の解明に関心が寄せられている。森林植生内の水分や CO_2 濃度分布、花粉などの物質や熱がどのように輸送・拡散されているかを知ることは、森林生態系にとって重要である。そこで、本研究では森林内で風速分布、渦拡散係数、温度分布、渦構造を観測することによって、物質及び熱がどのように拡散し輸送されているかを調べている。図 21 は金沢大学角間キャンパスにある高さ 20m の「角間里山森林観測タワー」である。タワーの各高さでの風速、温度の分布を測定し、実際の植生内の乱流拡散などを観測している。



図 21 角間里山森林観測タワー

4. おわりに

本稿では、金沢大学と流体工学研究室の概要、設備、研究内容の一部について説明を行った。ページの都合上、全てを紹介することは出来なかったため、その他の研究に興味のある方は、下記の連絡先、または、研究室のホームページまで是非アクセスして頂きたい。

最後に、本研究室の研究内容を紹介する機会を与えて頂いた編集委員会に感謝いたします。

- 連絡先 -

〒920-1192 石川県金沢市角間町 自然科学 3 号館
金沢大学 理工学域機械工学類 流体工学研究室
TEL : 076-234-4745 FAX : 076-234-4746
E-mail : kiwata@t.kanazawa-u.ac.jp
URL : <http://www.ms.t.kanazawa-u.ac.jp/~fluid/>