



機械における流体計測と空力騒音の解析

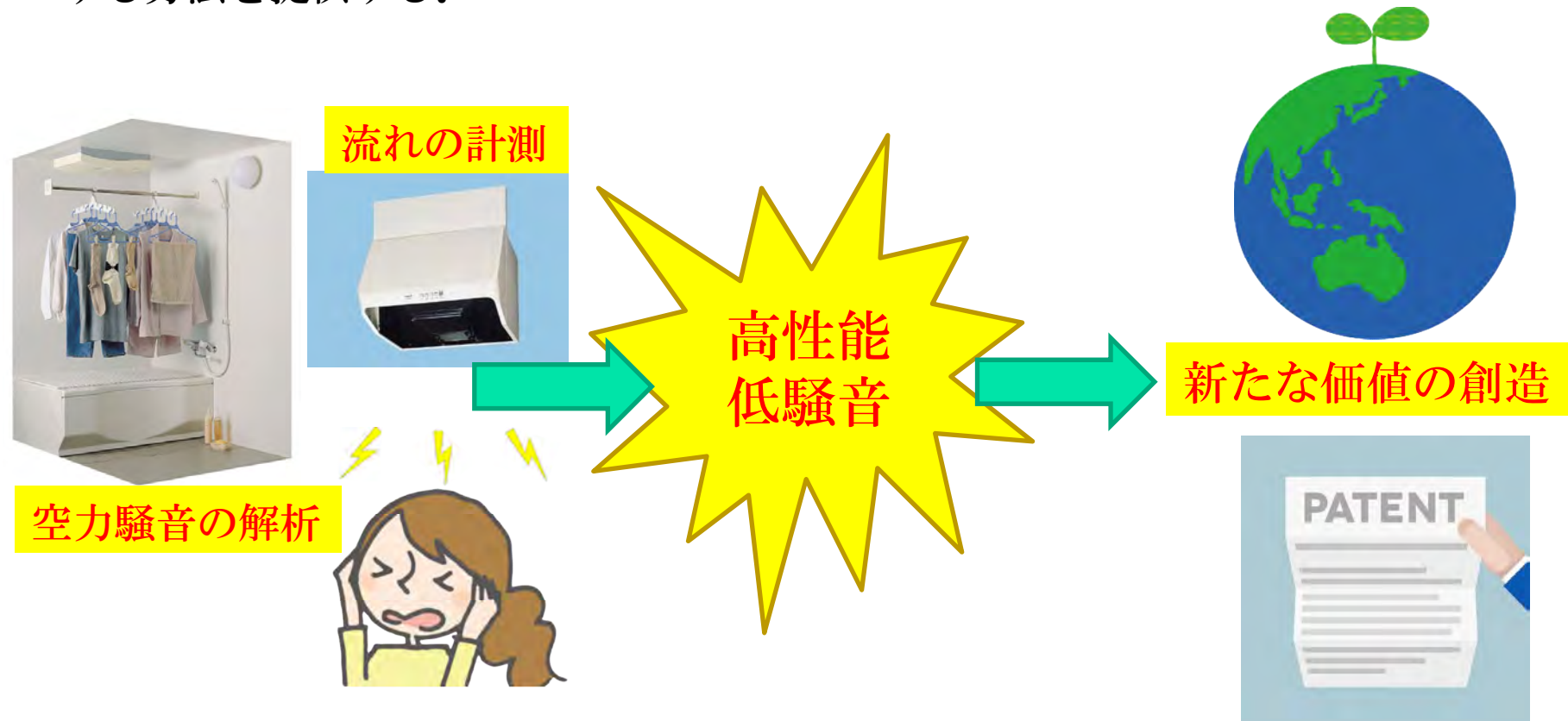
— 高付加価値の機械の開発 —

佐々木 壮一

長崎大学大学院工学研究科

はじめに —技術シーズの概要—

- ✓ 空気や音は目には見えないが、高性能な機械を開発するためには、それらを**定量的に評価**することが重要である。
- ✓ この技術シーズでは、**流れの計測**に基づいて機械から発生する**空力騒音を解析**する方法を提供する。

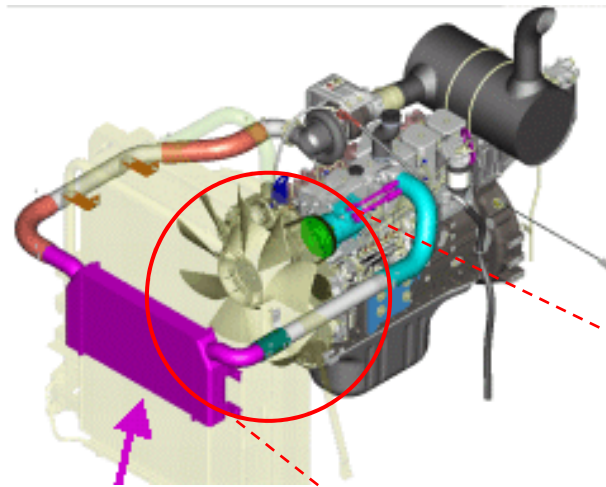


内容

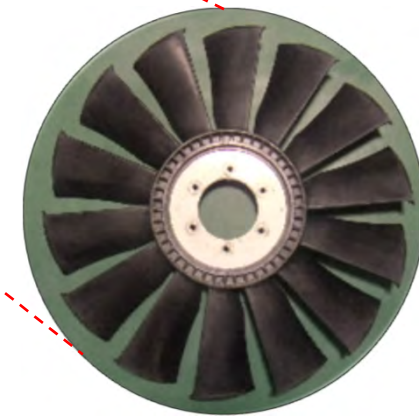
- ▶ はじめに
- ▶ 【事例1】 建設機械のエンジン冷却ファンの開発
- ▶ 【事例2】 水平軸風車の広帯域騒音の予測法の研究
- ▶ 【事例3】 自動車ドアミラー周りの空力音源の解析
- ▶ おわりに

課題 —エンジン冷却ファンの騒音—

- ✓ エンジン冷却のための走行風が期待できない；圧力よりも冷却**風量**
- ✓ 大量の人工風をファンで発生させる；ファンの**空力騒音**が増大
- ✓ ラジエータやエンジンなどの流路抵抗；**低流量域**での運転



Overall	102 dB
Fan	99 dB
Engine, etc.	97 dB
Exhaust	89 dB
Intake	87 dB



輸出の国際規制
作業環境の改善



ファン騒音
の低減

ファン性能の試験装置

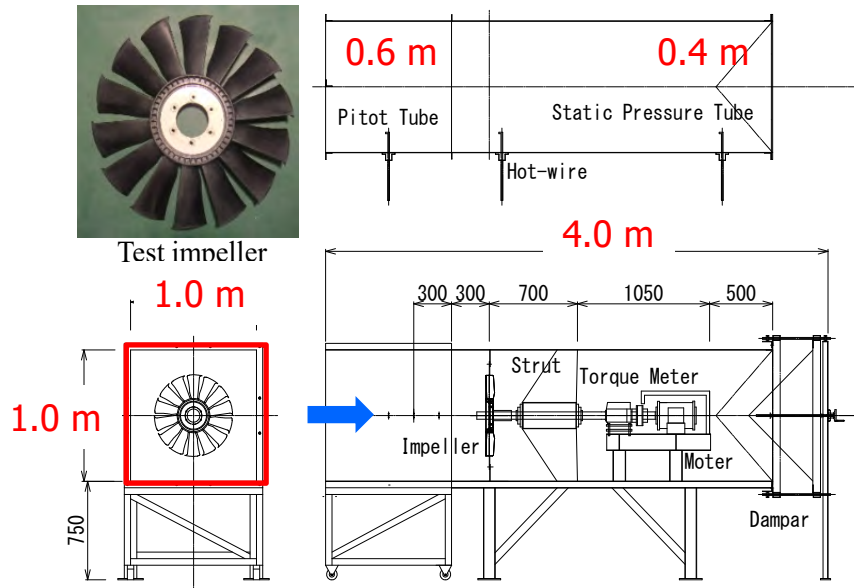


Fig. Experimental apparatus

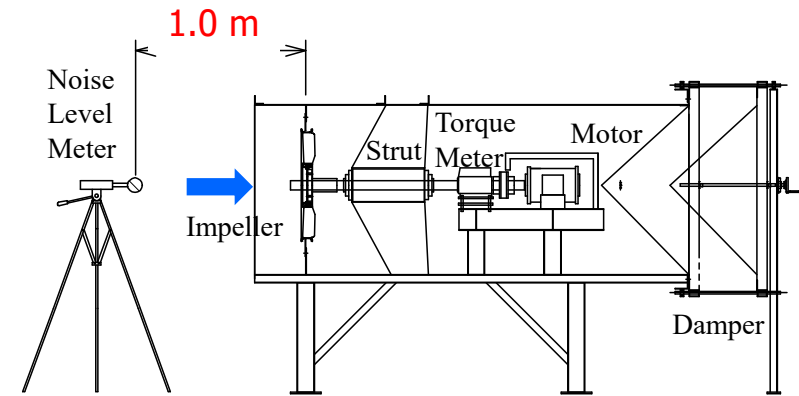


Fig. Experimental apparatus



Table. Main dimensions of the test impeller

D	613 mm
Z	14
v	0.424

空力特性と騒音スペクトル

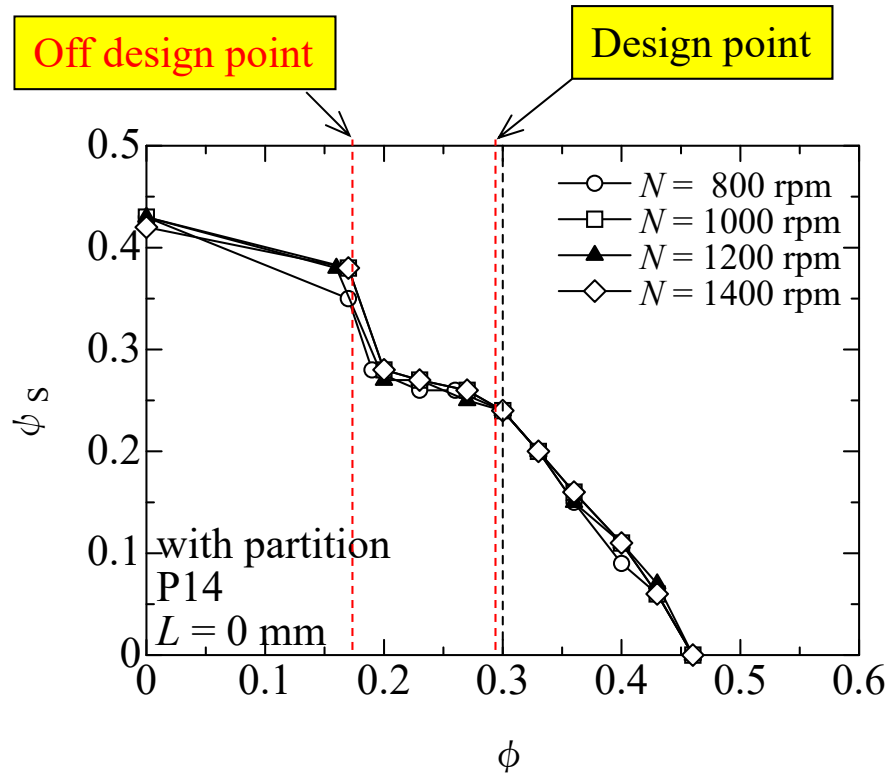


Fig. Aerodynamic performance

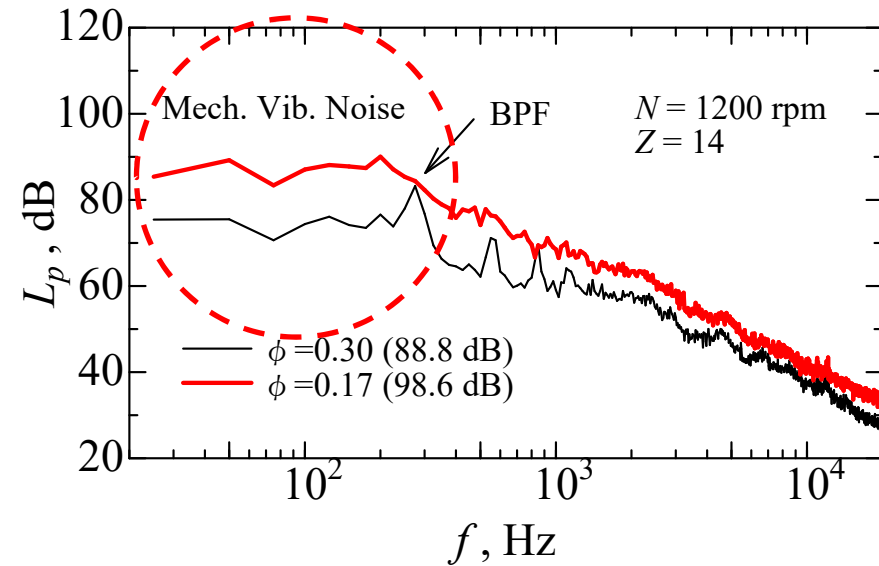
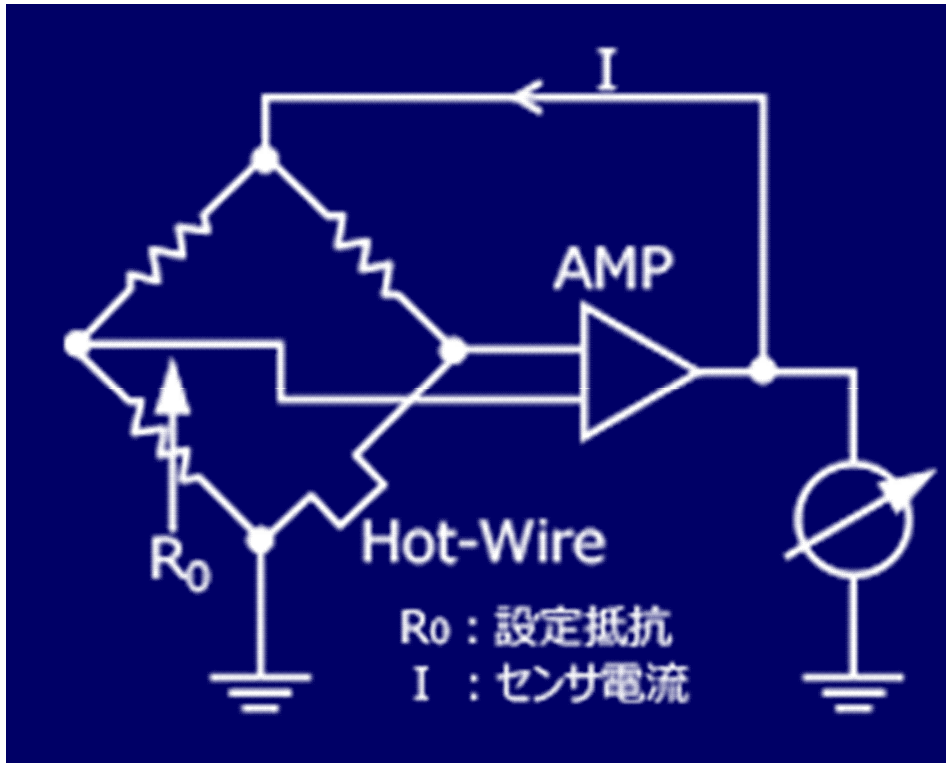


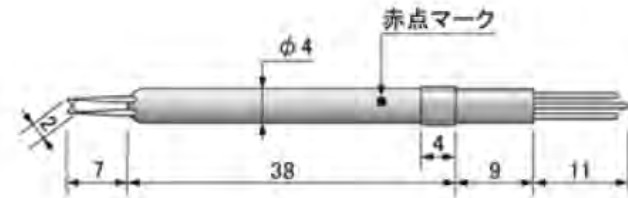
Fig. Noise spectra

- ✓ 最高効率点近傍が設計点; 低流量側が非設計点
- ✓ 非設計点の広帯域騒音が低周波の領域で設計点よりも大きくなる.

熱線流速計と熱線プローブ



(KANOMAXのHPより引用)



カノマックス HPより引用

- ✓ 熱線流速計
 - 流体中の加熱された抵抗線
 - 放散によって熱エネルギーが奪われる
 - 熱線の温度と共に電気抵抗値が変化
- ✓ 定温度型熱線流速計
 - 加熱センサに風が当たると冷却
 - センサの一定温度に保つよう電流が変化
 - 電流測定；流速／変動を検出

Kingの式

$$V^2 = (a + b \times U^{1/2})(T - T_a)$$

V : ブリッジ電圧 T_a : 流体温度
 U : 風速 a, b : 定数
 T : センサ温度

羽根車後流の流れ場

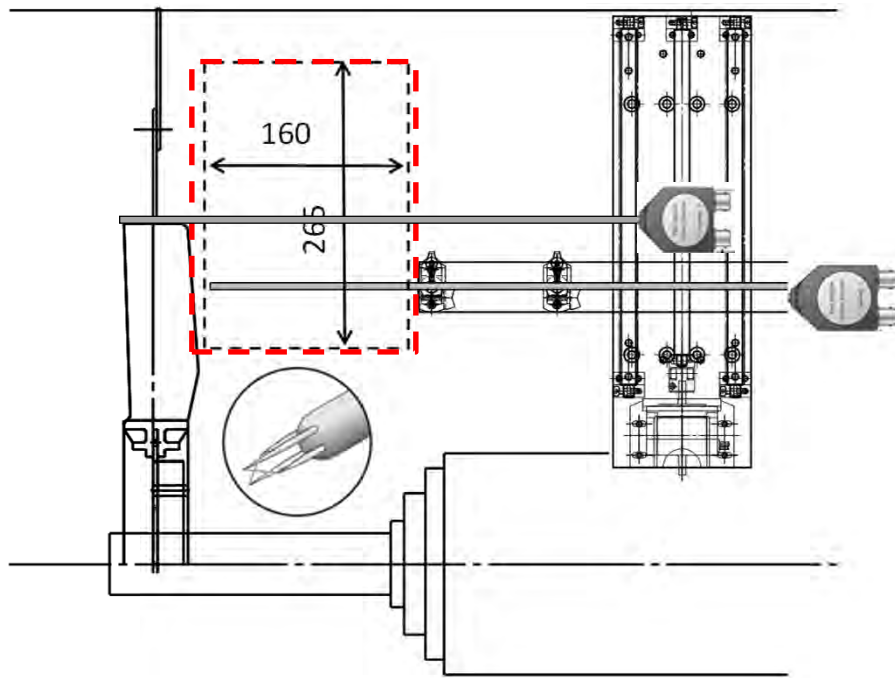


Fig. Measurement method of the flow regime

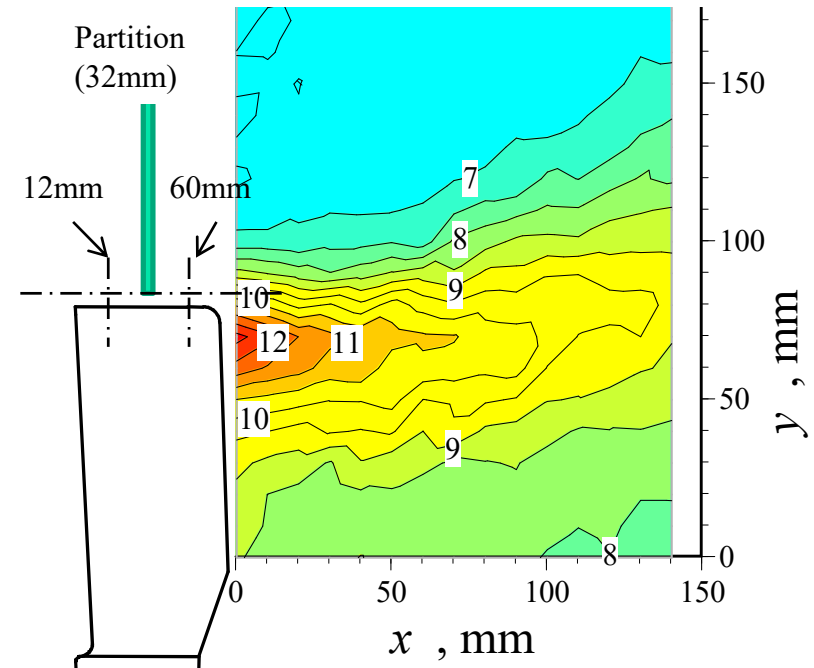
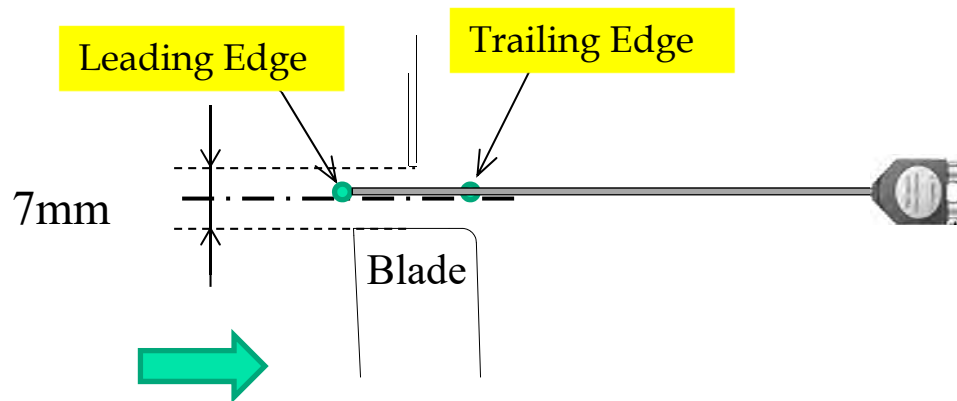


Fig. Distribution of velocity fluctuation



速度変動のスペクトル分布

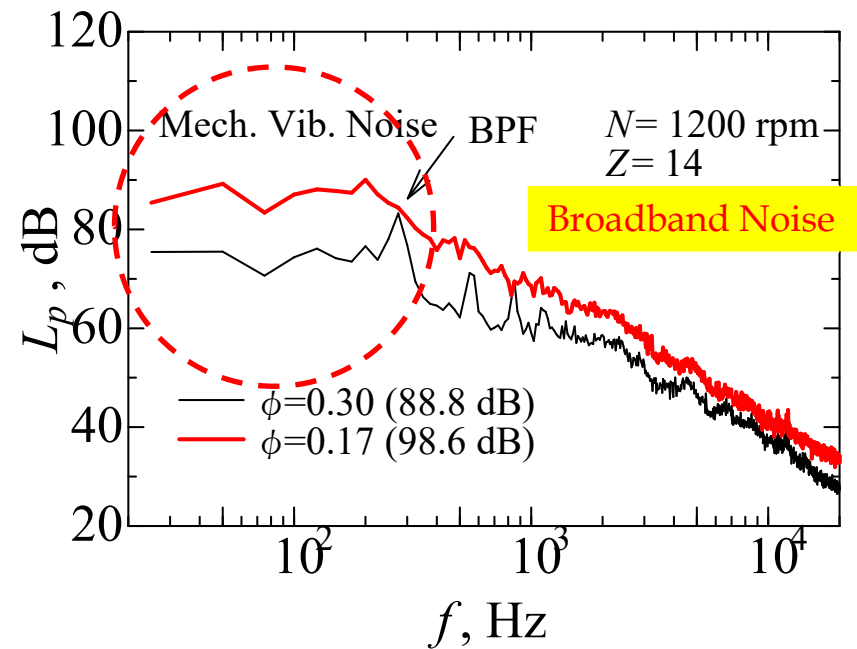
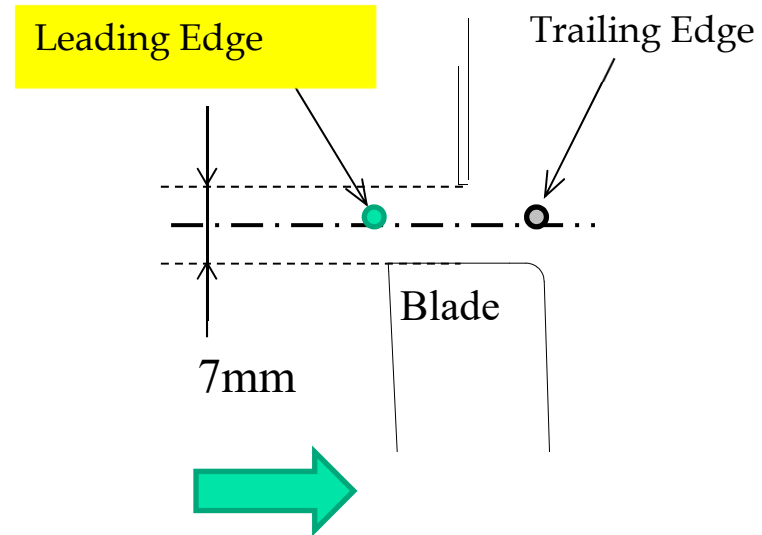
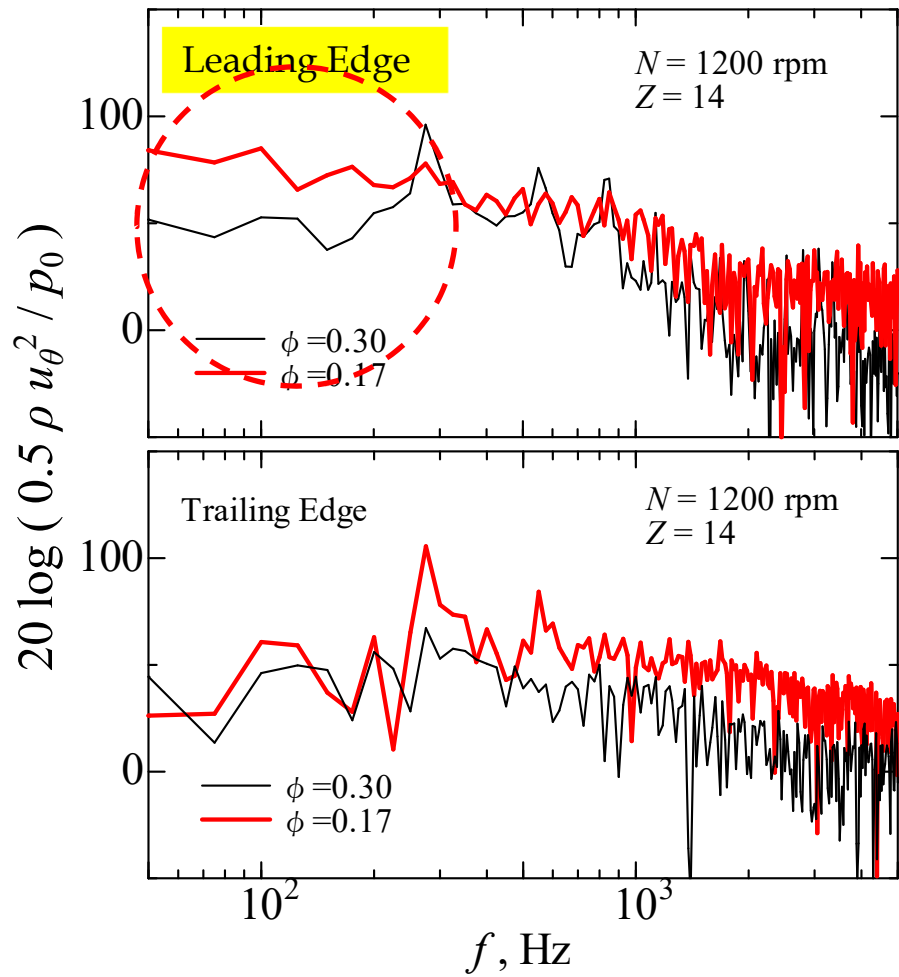


Fig. Spectral distributions of the velocity fluctuations at the blade tip

新技術の提案 —リングファンの開発—

- ▶ リングファン —高性能ファンの開発—
 - リング状シュラウド; 翼端側の流れの改善
 - 羽根の剛性の向上; 大きな振動環境での利用
 - 翼端側での漏れ流れの改善; 冷却風量の増加

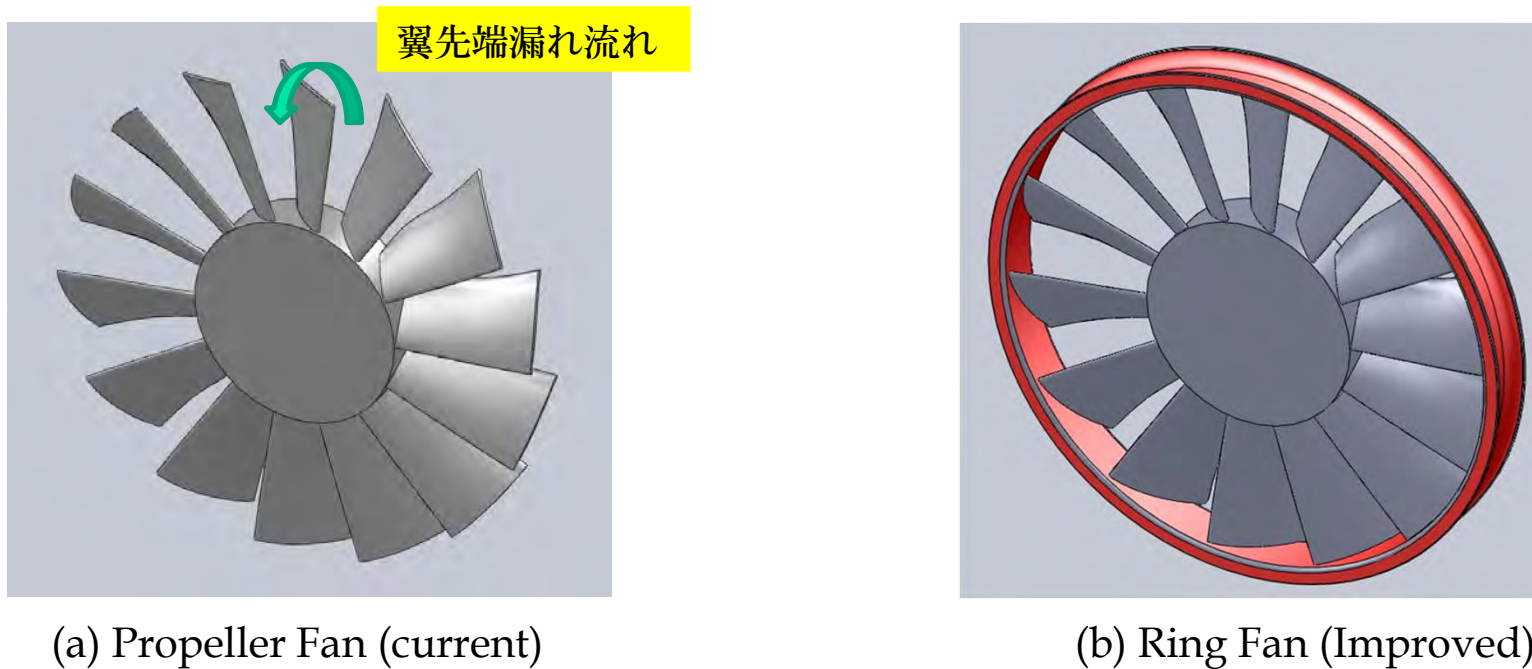


Fig. Development of the high performance fan

内容

- ▶ はじめに
- ▶ 【事例1】 建設機械のエンジン冷却ファンの開発
- ▶ 【事例2】 水平軸風車の広帯域騒音の予測法の研究
- ▶ 【事例3】 自動車ドアミラー周りの空力音源の解析
- ▶ おわりに

水平軸風車

- ✓ 1980年代以降、陸用の中型風車が日本国内に多数建設された
- ✓ 93年当時、軽くて強いFRPを用いた羽根車の量産体制が整えられた
- ✓ 90年代後半以降、欧州で風車生産が進む



Table Delivery Record (Ref. 1)

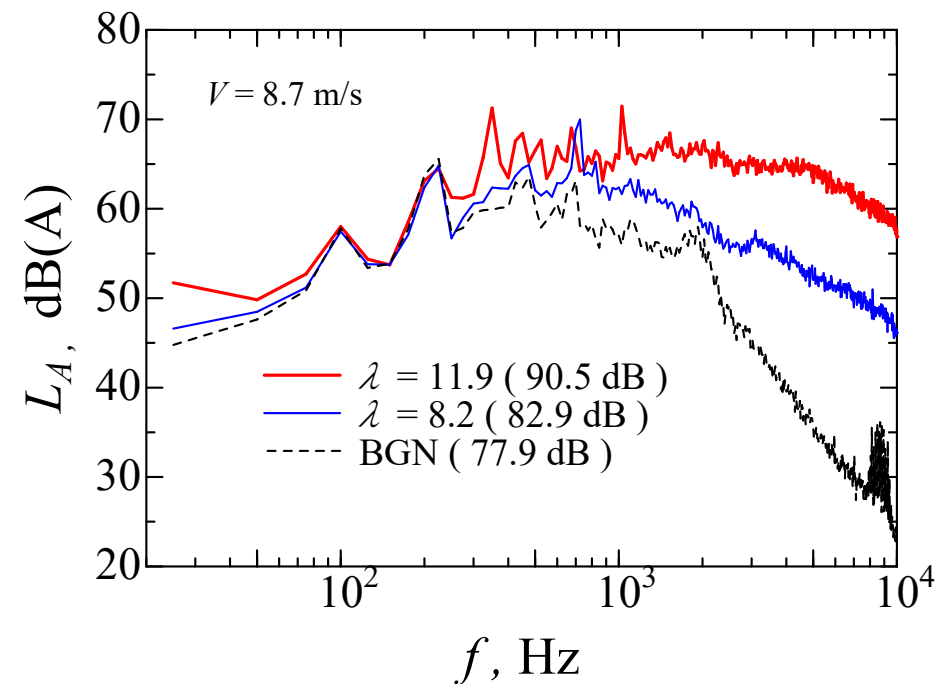
客先	建設地	台数	運開	主要目				
				定格出力	ロータ直径	発電機の種類	タワー高さ	
自社長崎造船所	長崎県西彼杵郡香焼町	1台	1980年12月	40kW	18.9m	同期発電機	23.2m	
九州電力株式会社殿	鹿児島県大島郡沖永良部島知名町	1台	1982年11月	300kW	33m	誘導発電機	30m	
自社長崎造船所	長崎県西彼杵郡香焼町	1台	1985年8月	250kW	25m	誘導発電機	22.5m	
K.W.E.P社殿	米国ハワイ州ハワイ島	37台	1987年7月	250kW	25m	誘導発電機	25m	
TOYOWEST社殿	米国カリフォルニア州テハチャピ	20台	1987年7月	250kW	25m	誘導発電機	25m	
ESS TOY	自社長崎造船所	長崎県西彼杵郡香焼町	1台	1980年12月	40kW	18.9m	同期発電機	23.2m
九州電力株式会社殿	鹿児島県大島郡沖永良部島知名町	1台	1982年11月	300kW	33m	誘導発電機	30m	
自社長崎造船所	長崎県西彼杵郡香焼町	1台	1990年3月	250kW	28m	誘導発電機	30m	

Fig. Prototype of a Wind turbine of MHI (Ref. 1)

(1) 三菱重工業カタログ, 三菱風力発電設備, H440-WT02J2-C-0, p5.

水平軸風車の騒音

- ✓ 水平軸風車から発生する騒音は、構造物の機械振動音や大型風車固有の低周波騒音などを除けば、**広帯域騒音が支配的**な因子となる。
- Amiet, R.K., Noise Due to Turbulent Flow past a Trailing Edge, Journal of Sound and Vibration, 47, pp. 387-393, 1976.
- M. S. Howe, A Review of the Theory of Trailing-Edge Noise, NASA Contractor Report 3021, CONTRACT NAS1-14611, 62 pages, 1978.



課題 一広帯域騒音の予測法一

- ✓ 水平軸風車の羽根車の代表的な設計法には翼素運動柳理論がある。
- ✓ この理論は風車の空力特性の初期性能の解析に積極的に利用されているに対して、風車の**広帯域騒音の解析**に応用された先行研究はほとんどない。

- ✓ 近年を十
を十
- 数値シミュレーション
計算コストの増加
- 業用...が用いられ...音の改正
- 翼素運動量理論
を広帯域騒音の
予測へ応用

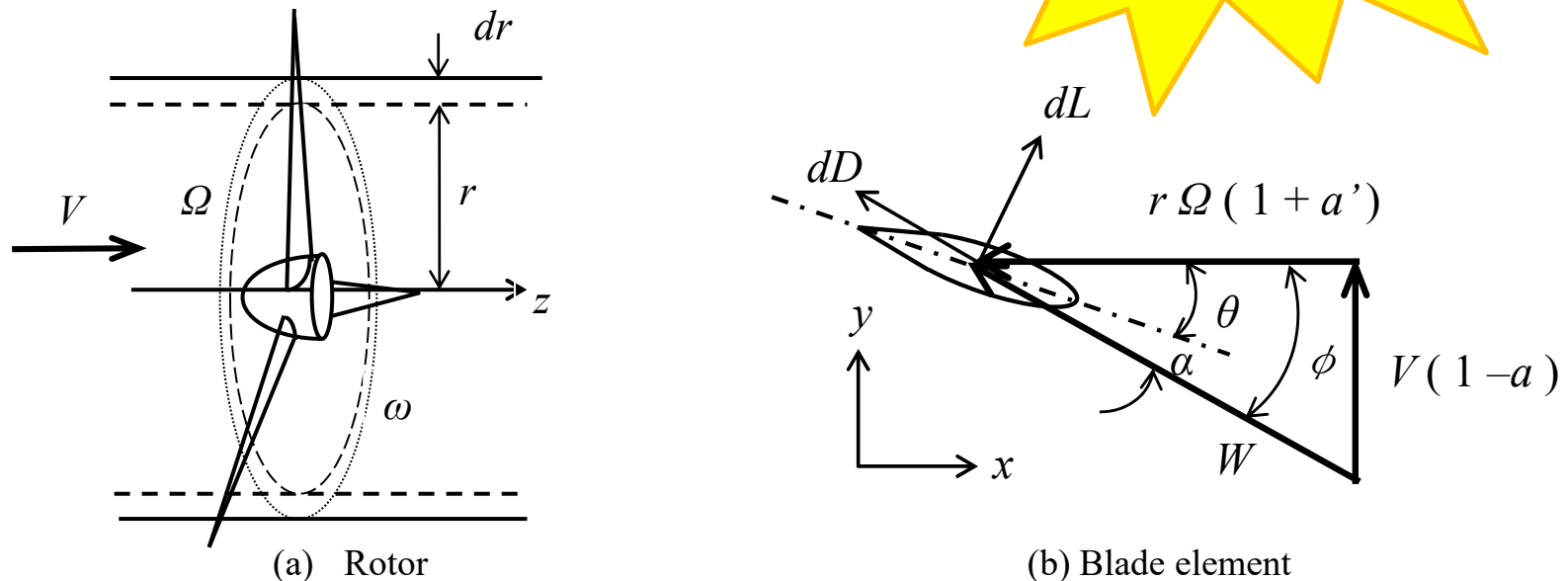


Fig. Schematic view of the blade element method

- ✓ H. Snel, Review of the Present Status of Rotor Aerodynamics, Wind Energy, 1, pp. 46-69, 1998

Wind Tunnel

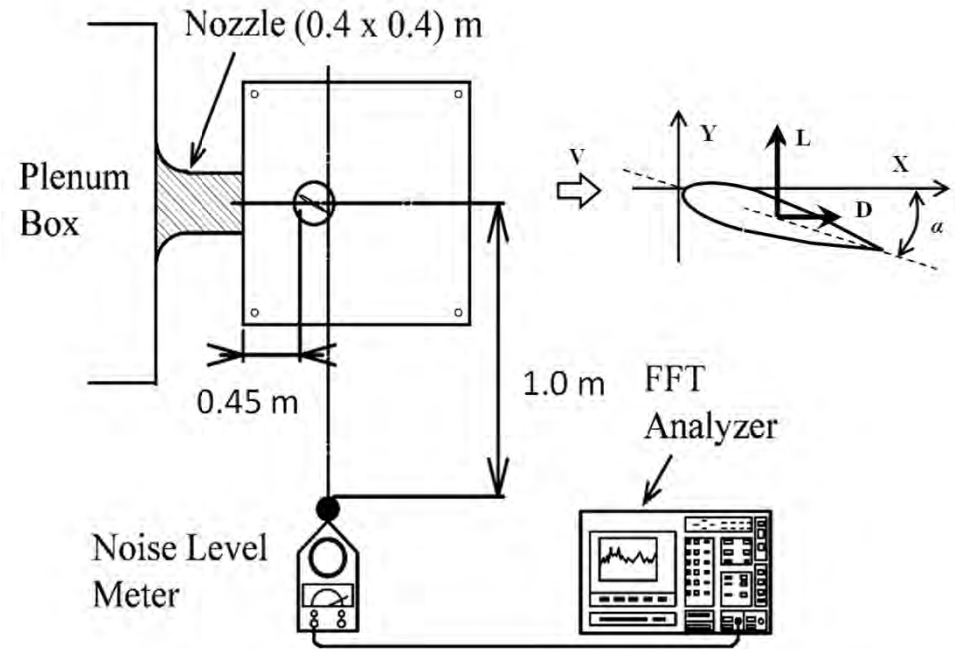


Fig. Experimental setup of the wind tunnel experiment

Table Main dimensions of the blade

	Chord	Thickness	Span	$t/C*100$
	C (mm)	T (mm)	L (mm)	(%)
NACA0018	30	5.4	100	18

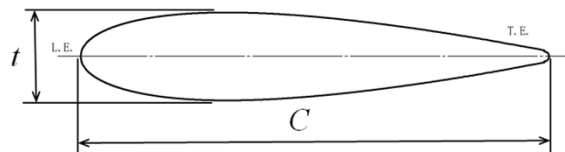
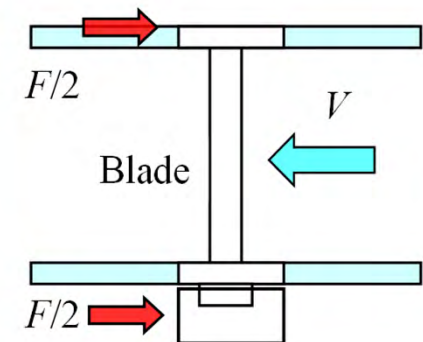
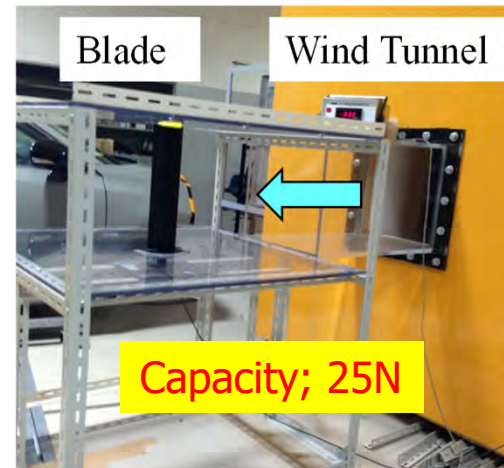


Fig. Overview of the examined blade



Load cell (TL2B09-25N)

翼素運動量理論

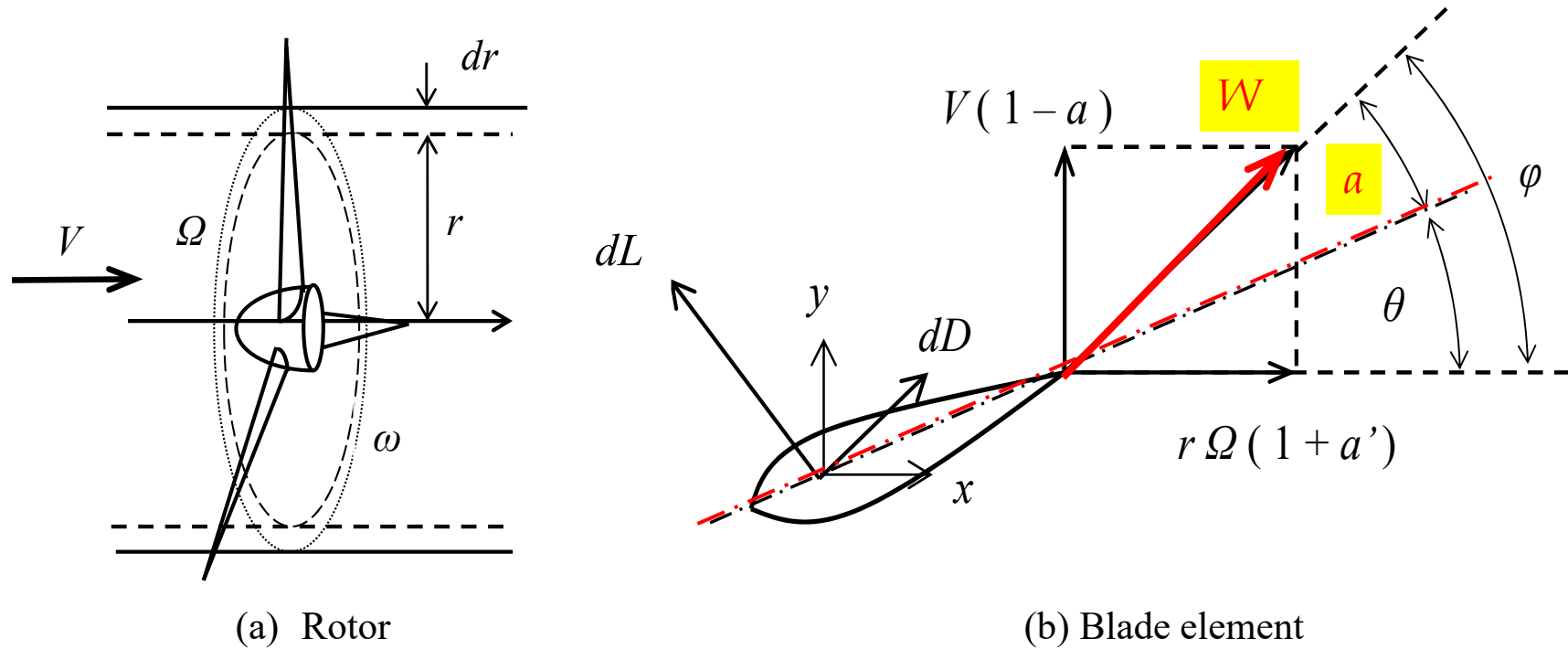


Fig. Schematic view of the blade element method

- (3) 佐々木壮一, 他3名, 後縁フラップ翼による風車のストール制御に関する研究, ターボ機械, 45-2, pp.75-81, 2017

Target Wind Turbine

Table Specifications of each segment

radius	chord	Blade shape
10.5	0.31	NACA0018
9.5	0.38	
8.5	0.44	
7.5	0.50	
6.5	0.56	
5.5	0.63	
4.5	0.69	
3.5	0.75	
2.5	0.81	
1.5	0.88	

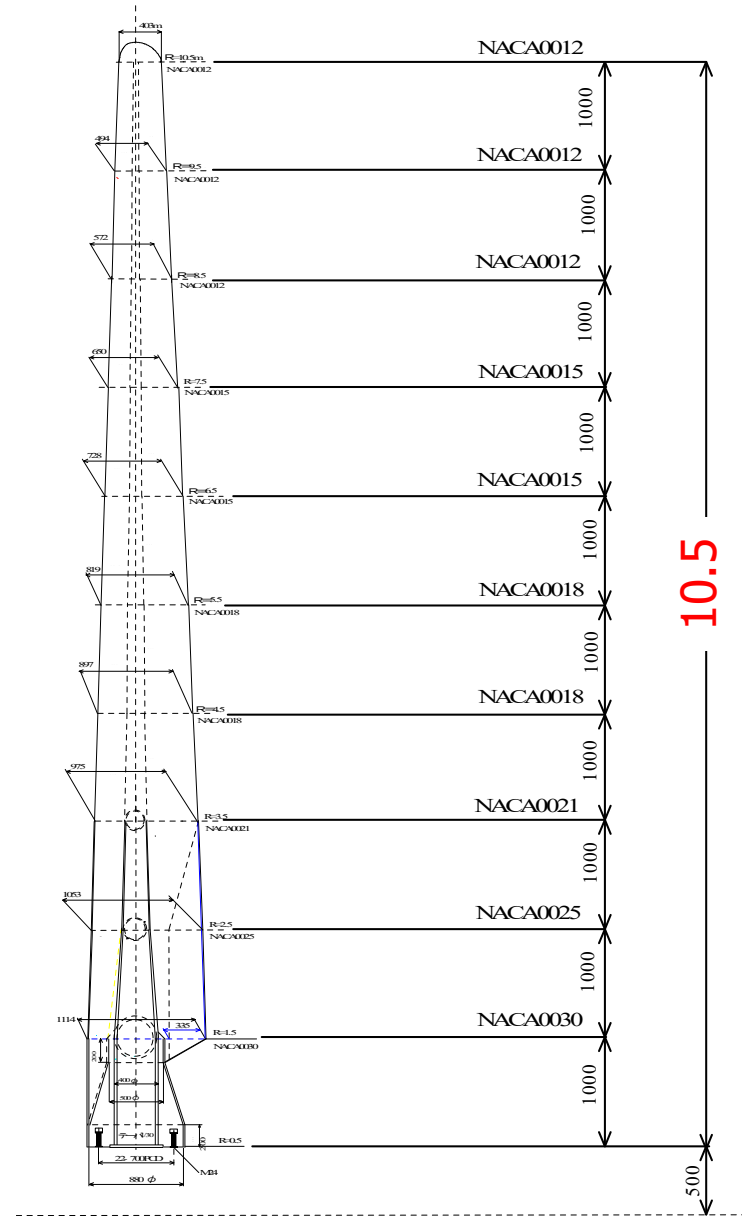


Fig. Schematic view of the objective impeller

風車性能の予測

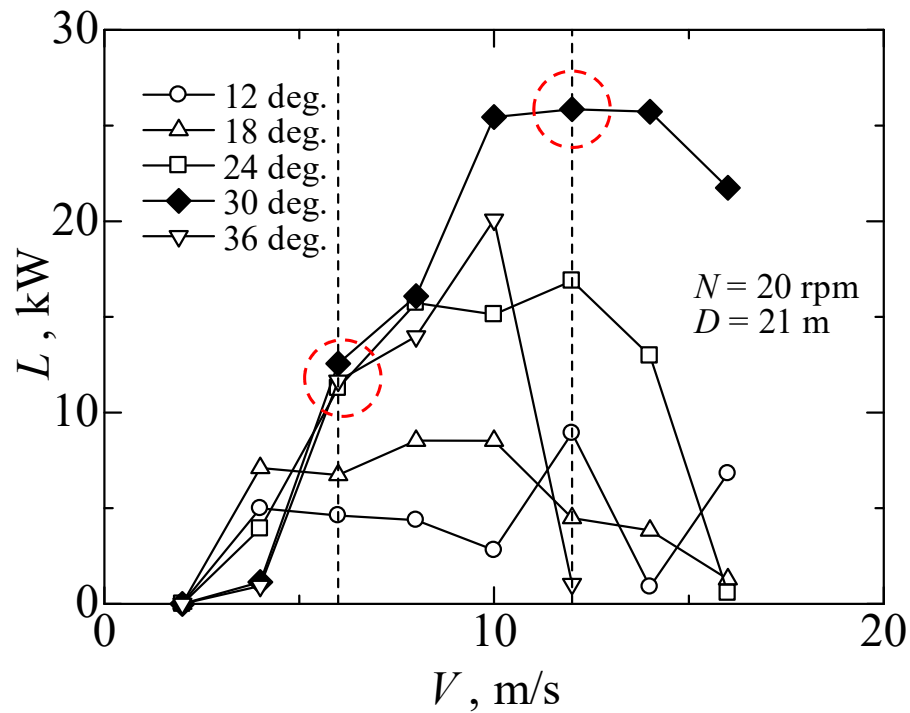
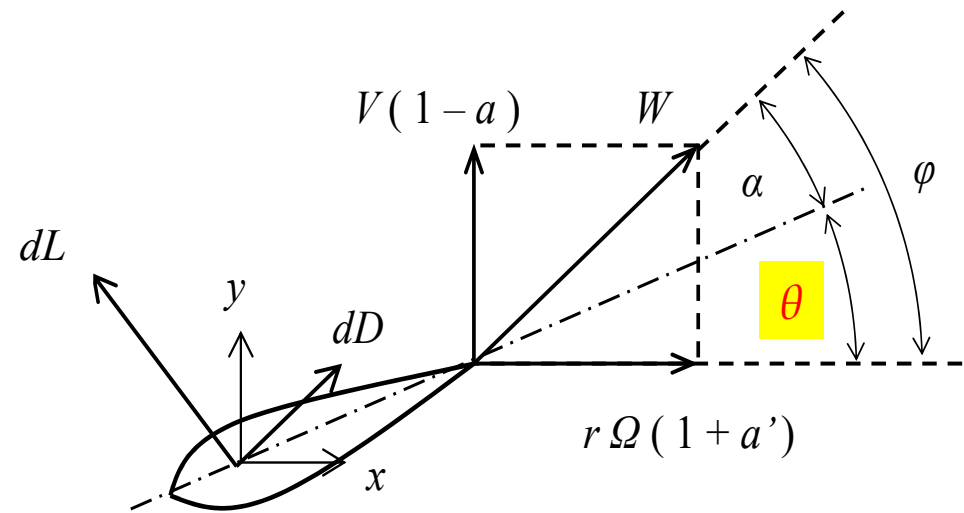


Fig. Output power of the wind turbine



風車性能と広帯域騒音の予測

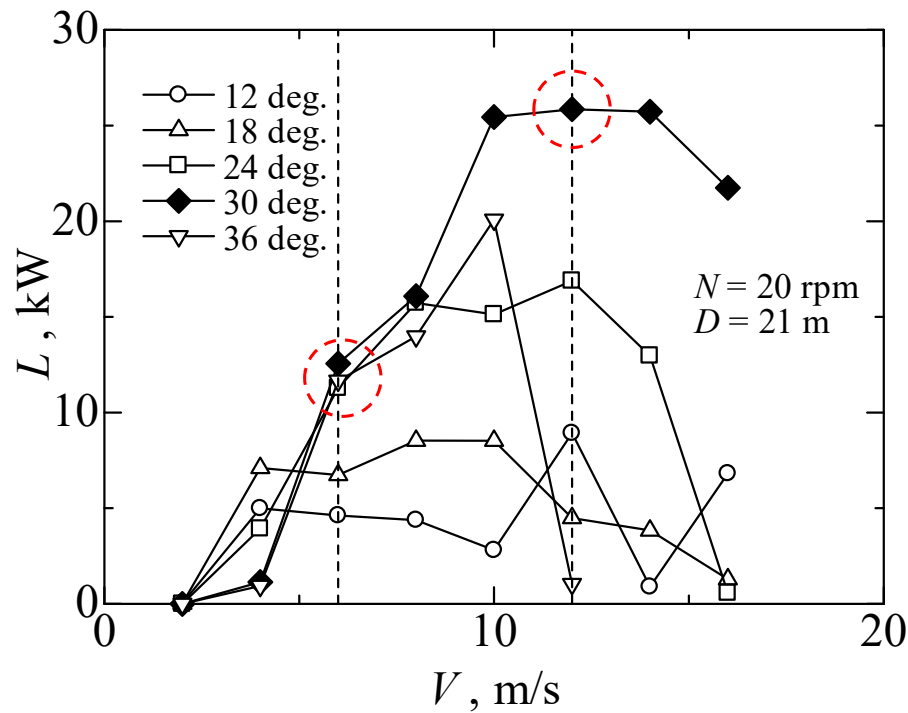


Fig. Output power of the wind turbine

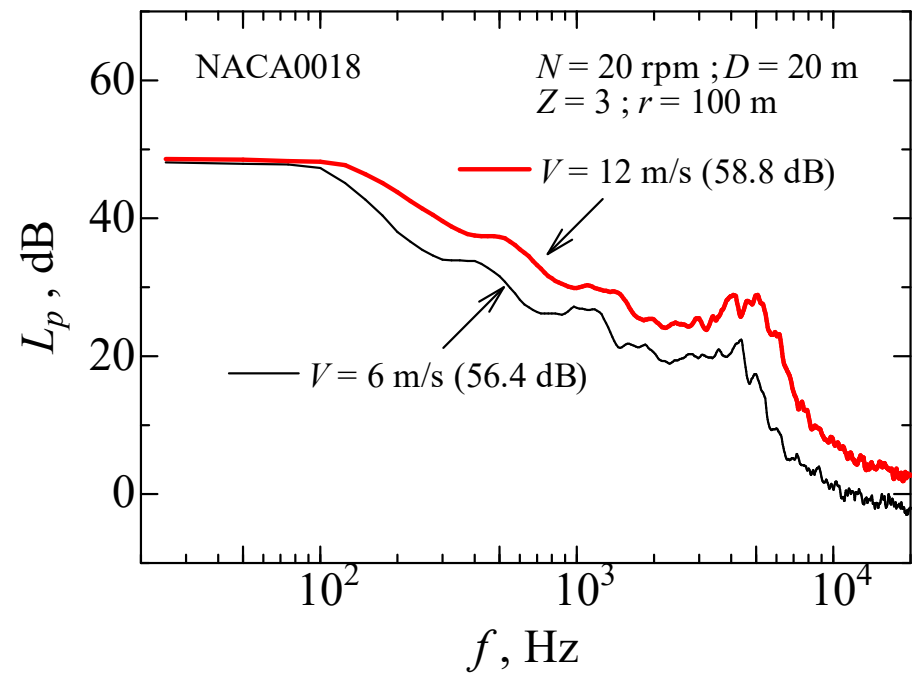


Fig. Relationship between the radius of the impeller and angle of attack

広帯域騒音の予測

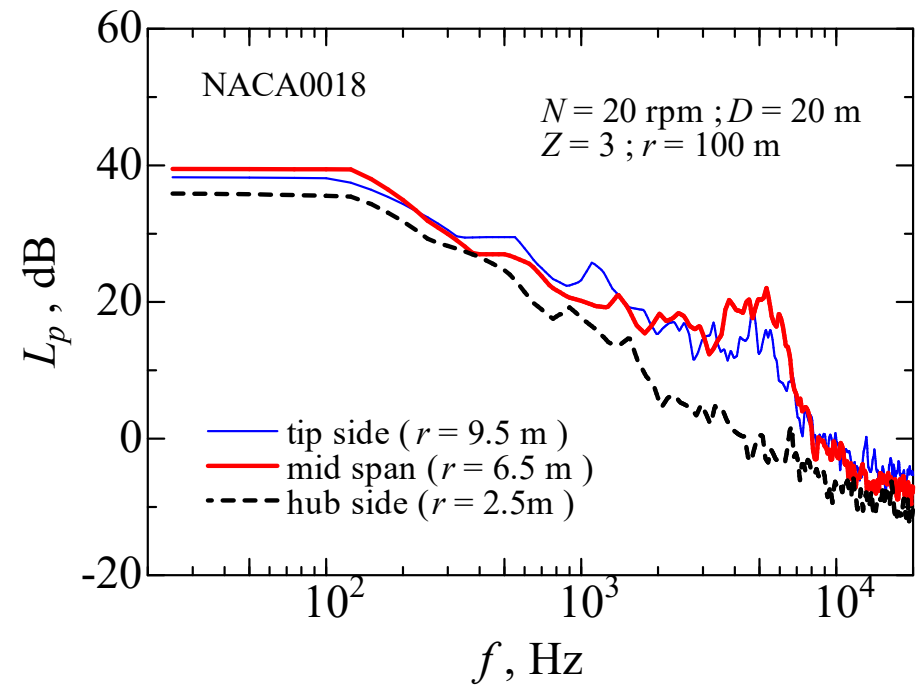
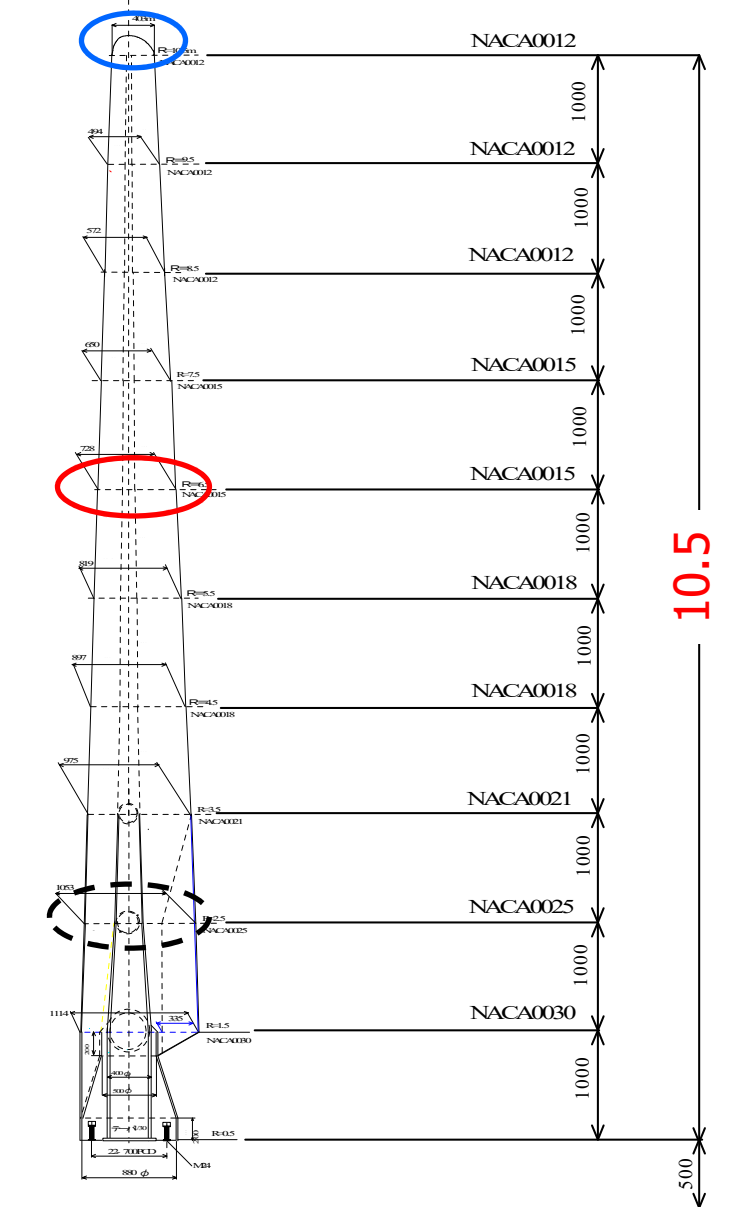


Fig. Noise spectra in each span position

新技術の提案 — ストール技術の開発 —

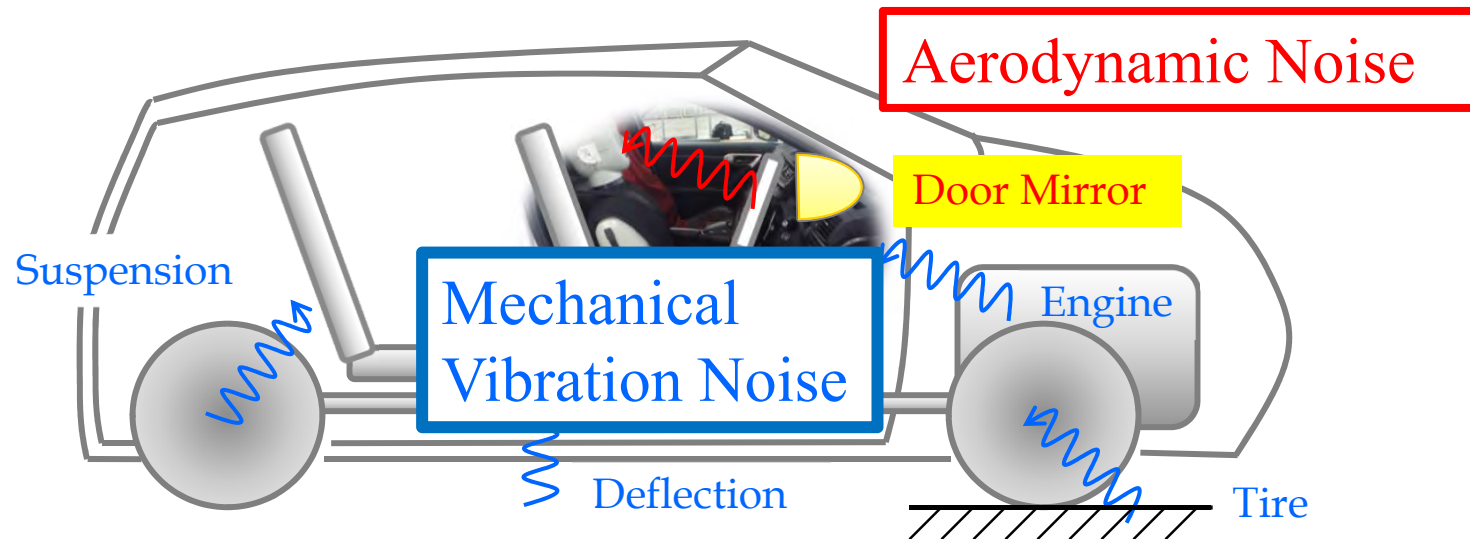


内容

- ▶ はじめに
- ▶ 【事例1】 建設機械のエンジン冷却ファンの開発
- ▶ 【事例2】 水平軸風車の広帯域騒音の予測法の研究
- ▶ **【事例3】 自動車ドアミラー周りの空力音源の解析**
- ▶ おわりに

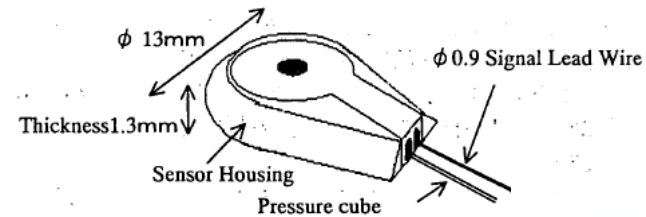
課題 ー自動車ドアミラー騒音ー

- Technical issue on the interior noise of an automobile
 - 【Mech. Vib. Noise】 Engine, Transmission, Tire, Suspension
 - 【Aerodynamic Noise】 Door Mirror, Prior, Fan, Buffet
- Door Mirror have to mount the automobile under the law
 - the door mirror itself becomes the noise source induced by the disturbance of the air
- Driver feels Uncomfortable noise because it mounts by the drivers seat



課題 ー熱膜センサと音源探査ー

1. 山田昌弘, 高感度小型圧力センサの開発,
機講論 (2004), pp. 239-234.



2. 農沢隆秀, 他3名, 自動車における空力騒音の音源構造について,
日本機械学会論文集 (B編), 75-758 (2009), pp. 1989-1995.



【課題】 多点の同時計測や簡易計測には不向き

3. 上運天昭司, 他3名, マイクロ熱膜せん断応力センサの設計
および特区性評価, 日本機械学会後縁論文集, (2000), pp. 723-724.



【課題】

フィルム型の熱膜センサが空力音源の
解析に応用された先行研究は少なく,
その定性的な計測技術の有効性につい
ても不明な点が多い。



熱膜センサの
空力音源の解
析への応用

熱膜センサ

【フィルム型熱膜センサ】

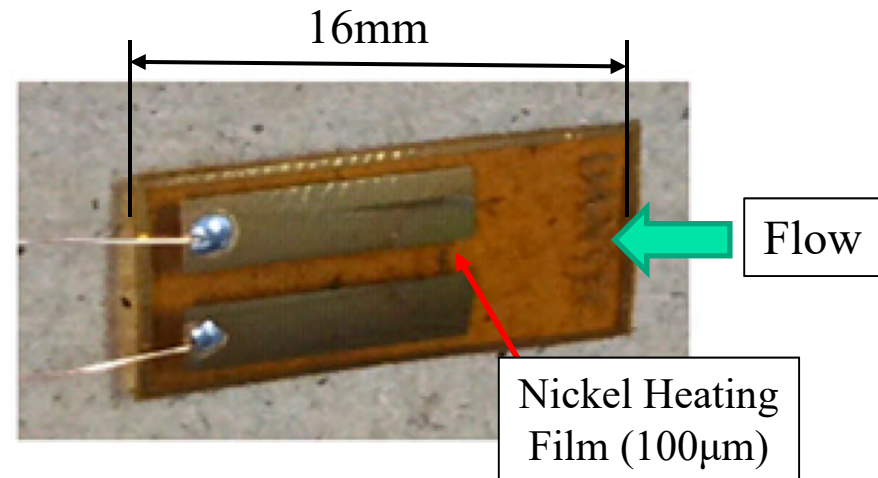
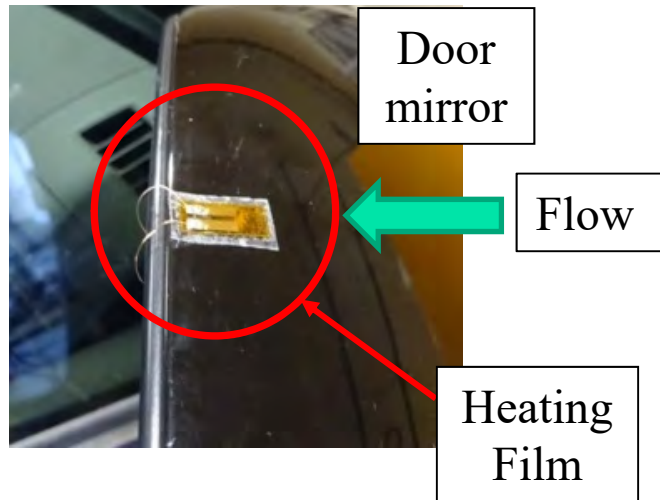
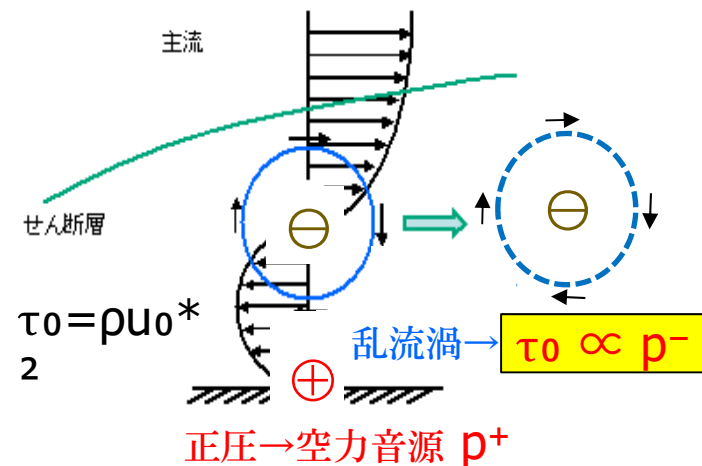


Fig. Heat film probe

【Prandtlの摩擦係数に基づく摩擦速度】

• 摩擦速度	$u = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$
• 摩擦係数	$C_f = \frac{2\tau}{\rho U^2}$
• Prandtlの摩擦係数	$C_f = 0.074 / Re^{\frac{1}{5}}$



ドアミラー騒音の実験装置

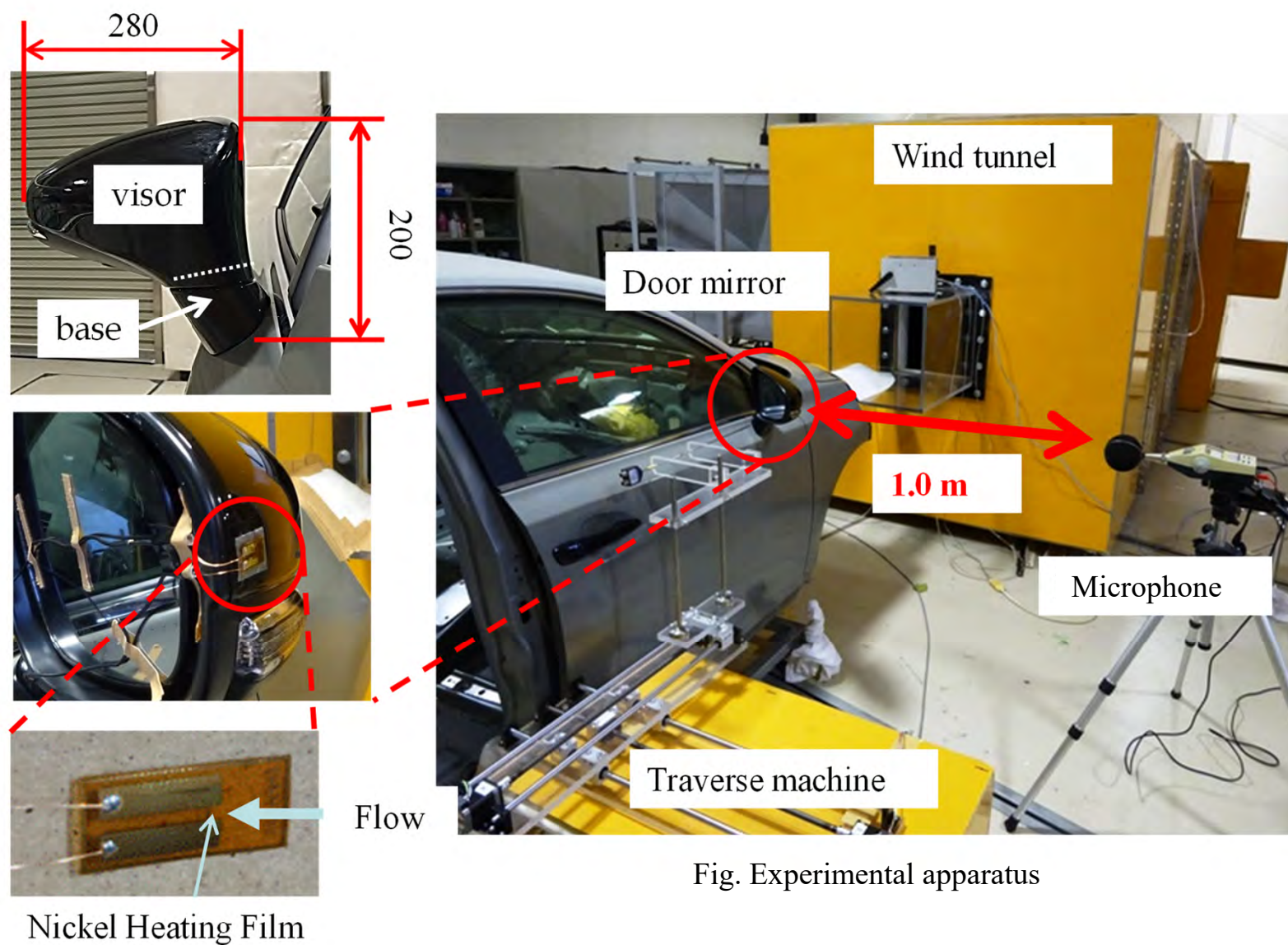


Fig. Experimental apparatus

自動車ドアミラーの空力騒音

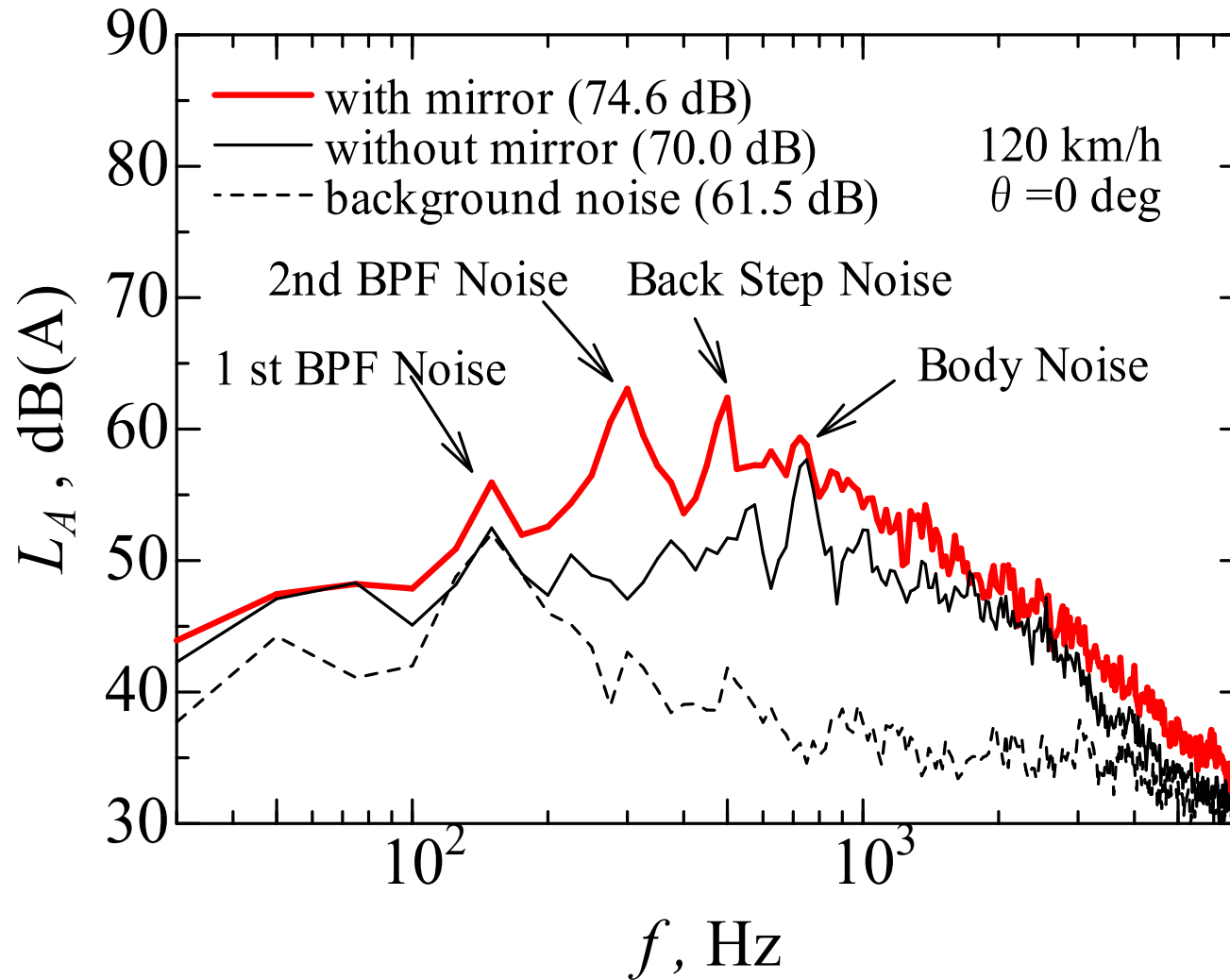


Fig. Noise spectra of the automobile door mirror

熱膜センサ —摩擦速度変動—

低周波騒音源

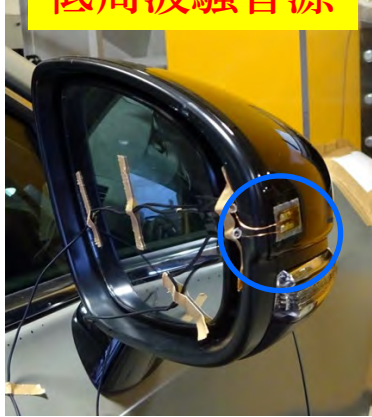


Fig. Measurement position

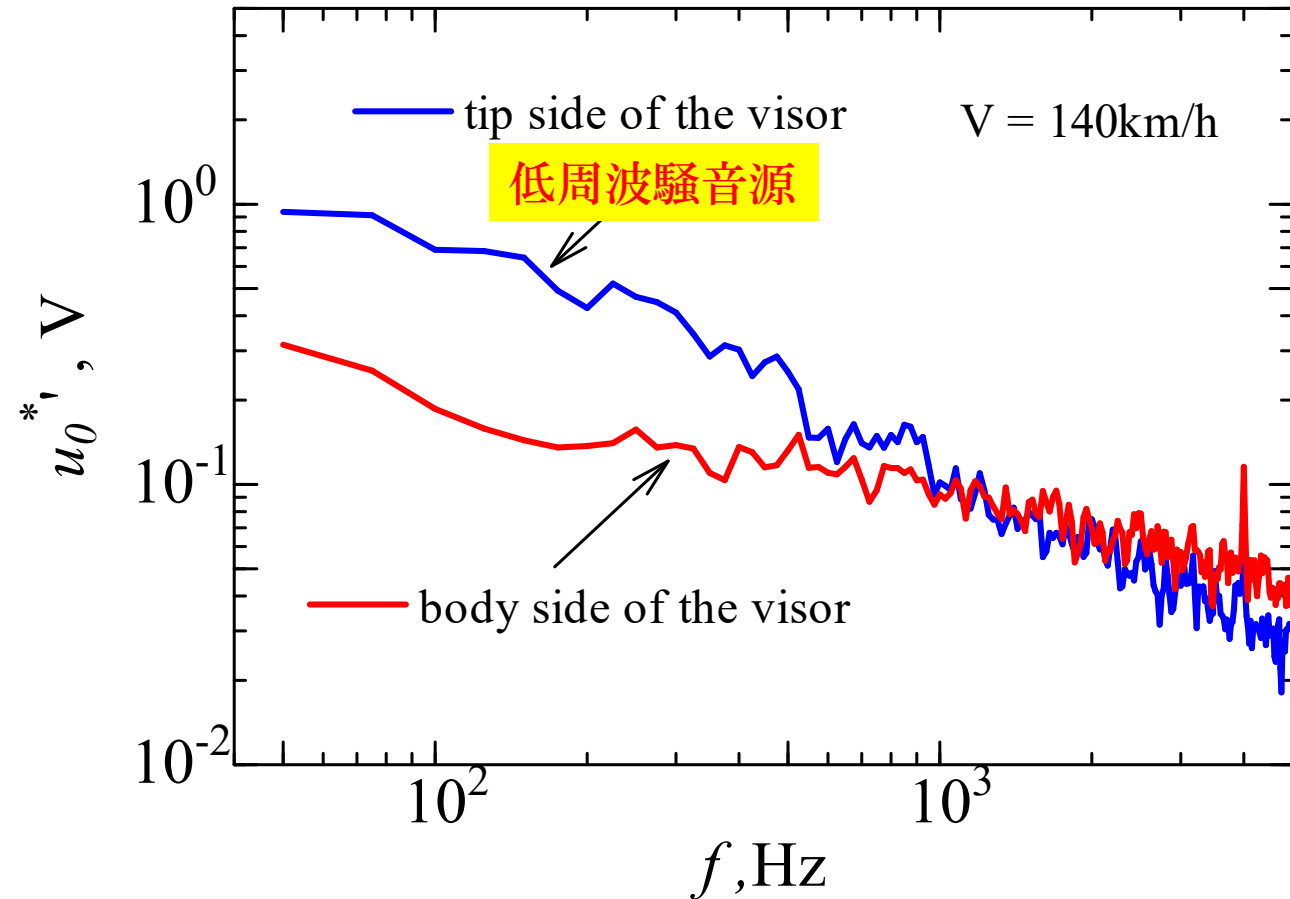


Fig. Comparison of the friction velocity fluctuation

熱膜センサ —摩擦速度変動—



高周波騒音源

Fig. Measurement position

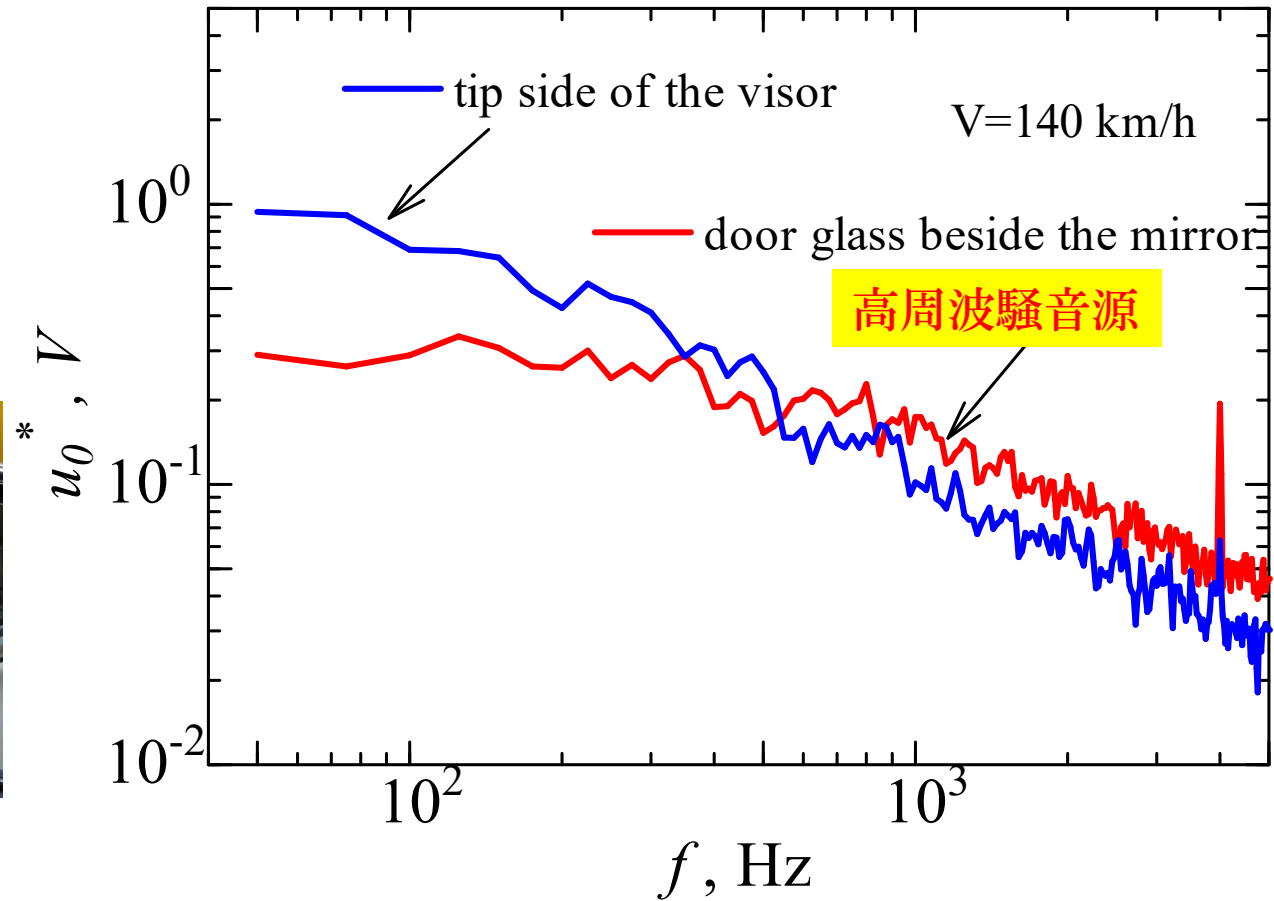
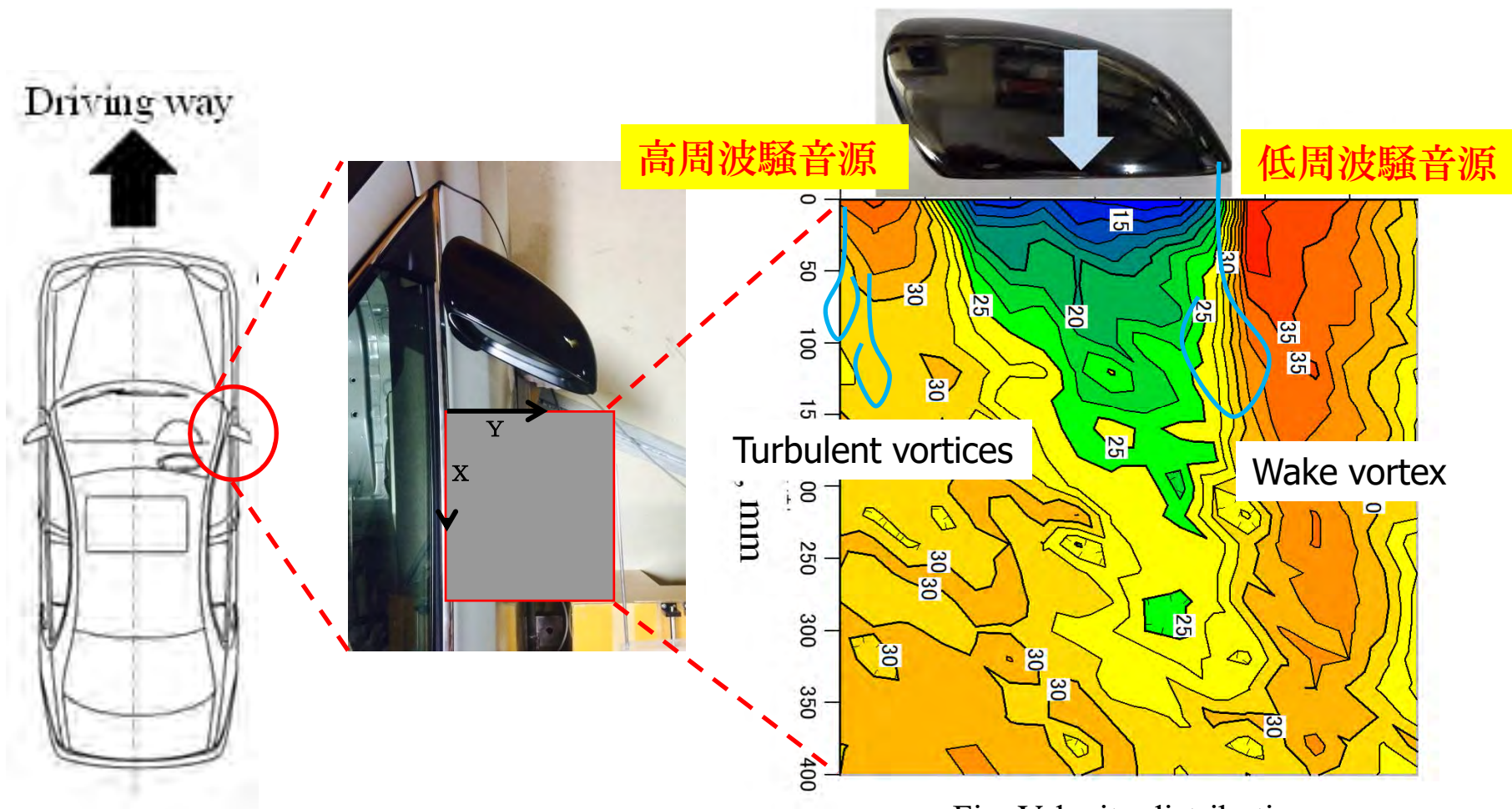
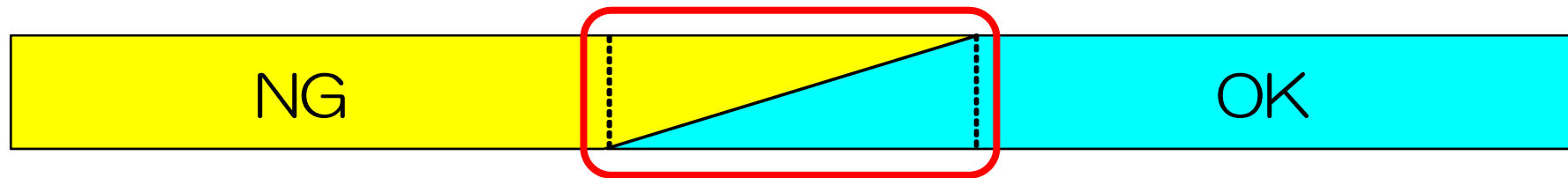


Fig. Comparison of the friction velocity fluctuation

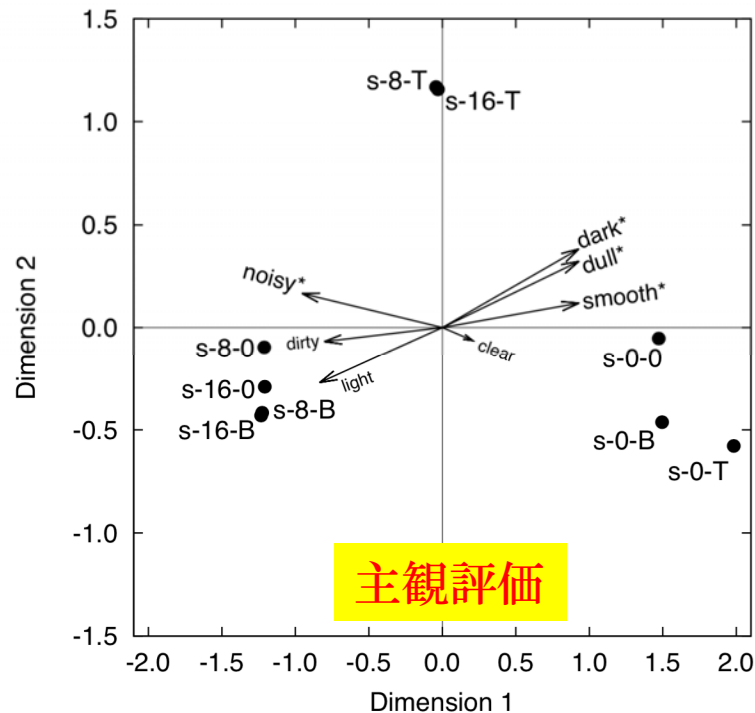
熱線流速計 — ドアミラー後流の速度分布 —



新技術の提案 —品質保証への応用—



官能のグレーゾーンに対する定量的な評価方法の確立



定量的評価

- ✓ Yamauchi, K., Sasaki, S., et al., Subjective evaluation of vehicle door mirror noises with differing clearances between parts, Proc. of 22nd Int. Congress on Sound and Vib., 2015, 6 pages.

おわりに

- ✓ 機械における流体計測は、**基礎的な技術**によってなされることがわかりました。
- ✓ 流れに関連する機械を開発するときには、まず実機まわりの流れを計測し、**実際の課題を明確**にすることが重要です。
- ✓ 課題となる流れの計測技術が確立されると、**流れや音**など機械を研究開発するための**定量的な物理量**を直ちに取得することができます。
- ✓ 機械の流体計測を製品の研究開発に取り込んで、**付加価値の高い機械**の創出に繋がれば幸いです。