

大阪府立産業技術総合研究所における メカトロニクス関連のものづくり支援の取組みについて

MEMS、センサデバイス、組み込み、
TRI工房の技術紹介と支援事例

(地独) 大阪府立産業技術総合研究所
制御・電子材料科 朴 忠植

大阪府立産業技術総合研究所の紹介



「ものづくりのテクノ・パートナー」として継続的でレベルの高い技術支援を実施



中小企業の基盤技術の高度化

企業を支える技術者の育成(技術継承)

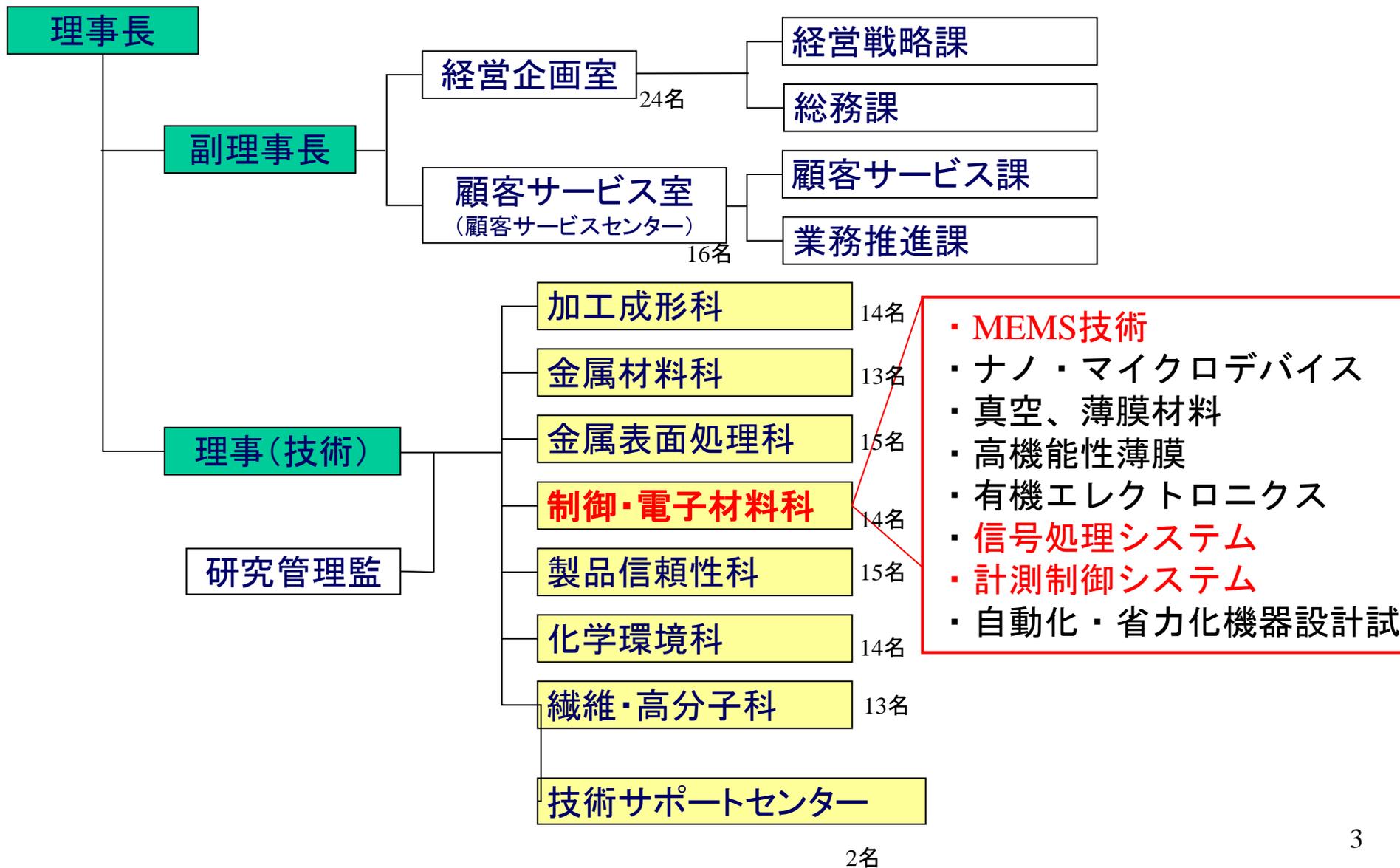
新技術の移転・普及



JR新大阪駅から1時間20分

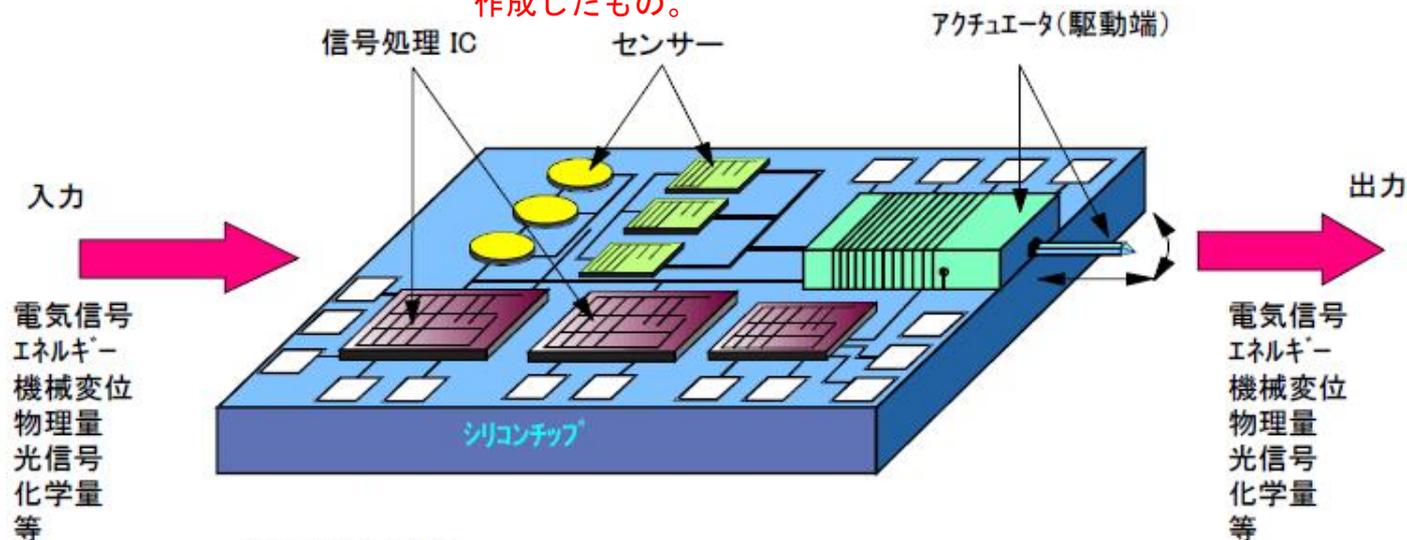
<http://tri-osaka.jp/>

大阪府立産業技術総合研究所の紹介(組織)

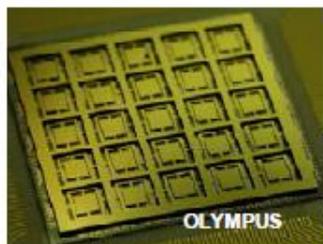


MEMSの定義

シリコンチップ上にセンサ、信号処理、制御回路、アクチュエータを用途に応じて、組み合わせて作成したもの。



Micro Electro Mechanical System:微小電気機械システム



ミラーデバイス



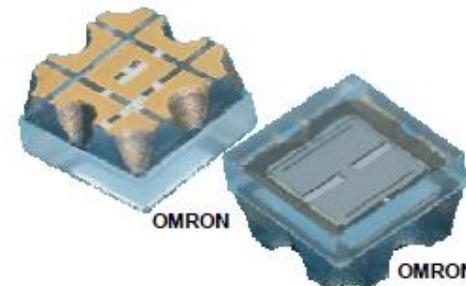
カンチレバー



圧力センサ



加速度センサ



RF MEMSスイッチ

用途、サイズ、同時作製数など

(財)マイクロマシンセンター発表資料より

MEMSの特徴

小型化、集積化、一括加工



低コスト・量産化

スケール効果



- ・ニュートン力学における支配項の変化による性能向上
- ・ナノサイズでの量子力学による新たな機能

新製品、新産業の創出

但し、微小な欠陥でも機能、性能に悪影響



産技研では長年に渡る加工プロセス技術の高度化、ノウハウ蓄積

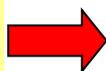
■ スケール(寸法)効果

パラメータ	関係式	寸法効果	備考
質量	ρV	L^3	ρ : 密度、 V : 体積
圧力	SP	L^2	P : 圧力、 S : 表面積
重力	mg	L^3	g : 重力加速度
粘性力	uSv/d	L^2	u : 粘性関数、 d : 間隔、 v : 速度
表面張力	Lr	L	r : 液の表面張力
熱伝導	$\lambda \delta TA/d$	L^2	λ : 熱伝導率、 δT : 温度差、 A : 断面積
静電力	$\varepsilon SE^2/2$	L^2	ε : 誘電率、 E : 電界(一定)

(L を代表寸法とする)

■ 熱型赤外線センサでは、

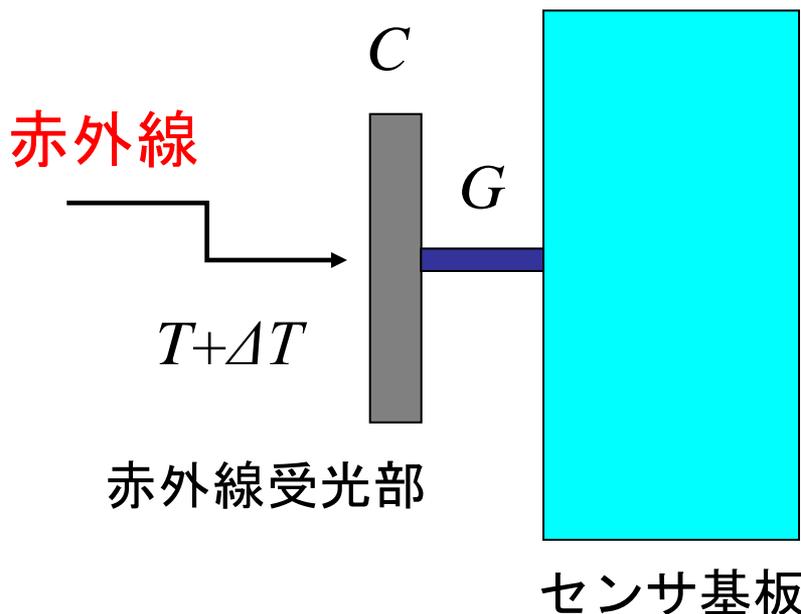
赤外線照射による
温度変化



抵抗率、誘電率、起電力、
分極などの温度係数



信号処理による
赤外線検知



感度と応答時間の関係

→トレードオフ

$$\text{感度} \propto 1/G$$

$$\text{応答時間} \propto C/G$$

(C:熱容量、G:熱伝導)

熱容量が小さくなり、高感度・高速応答が可能になる。

→ **スケール（寸法）効果**（体積に比べて熱伝導の効果が優る）

目的

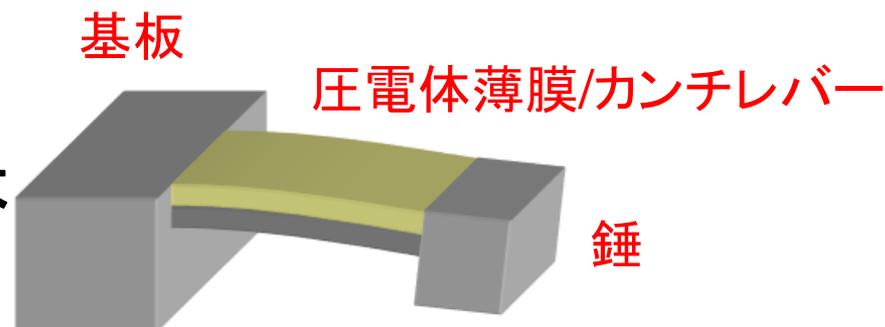
大阪府立大学との共同研究

振動発電デバイスの普及、用途拡大のための発電能力の向上

- ・ 最適な圧電材料探索(大府大)
- ・ 圧電体の薄膜化(大府大)
- ・ 最適な構造設計(産技研)
- ・ 微細加工(産技研)

発電性能は、構造設計と構造材料の物性値による

非鉛圧電体薄膜の開発

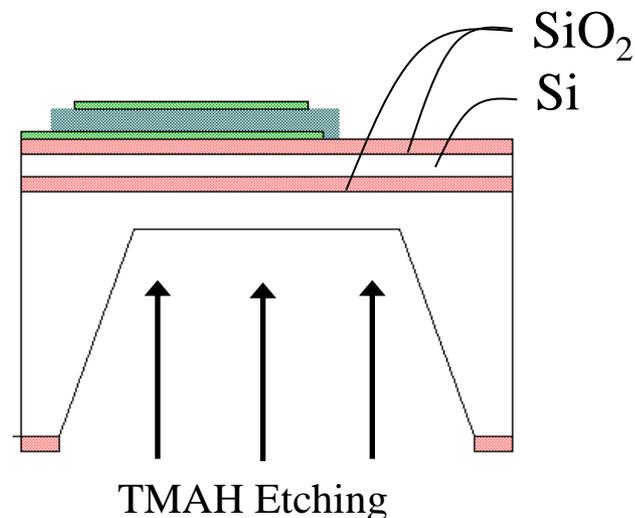
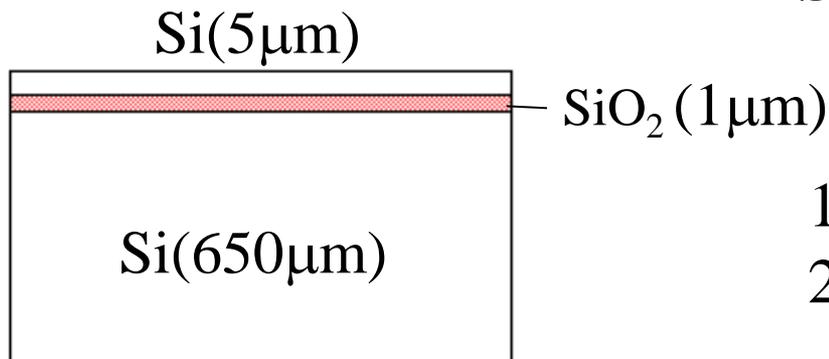


ユニモルフ構造

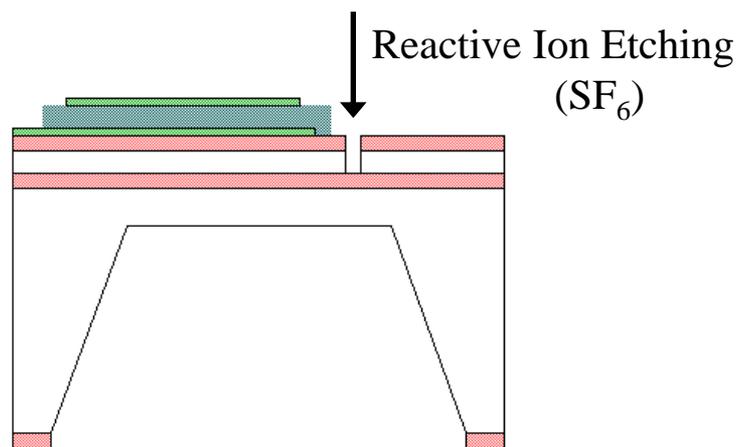
安定かつ精度のよい
製膜プロセスの開発

■ 振動発電素子試作プロセス

SOI (Silicon On Insulator) ウェハ

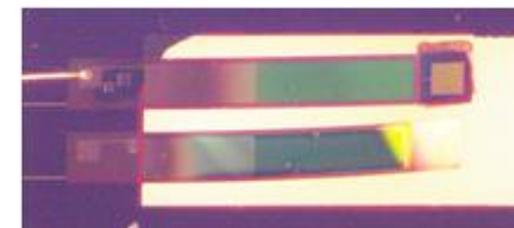
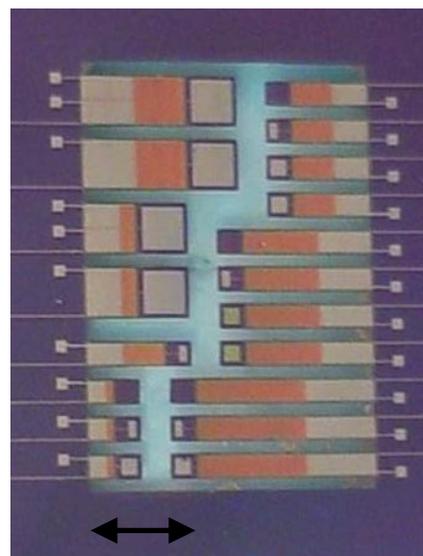
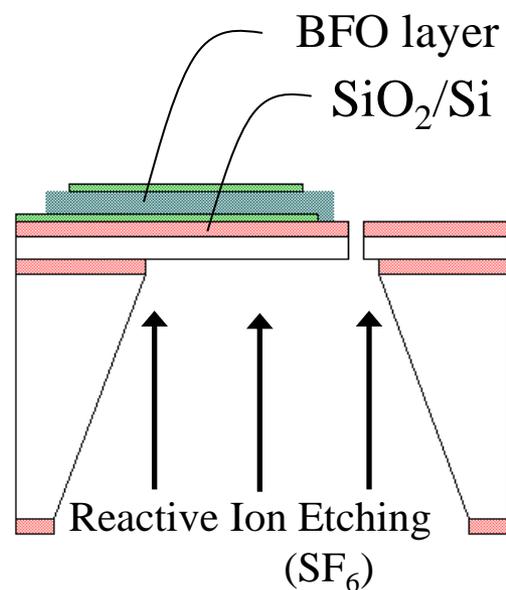


1. 熱酸化 厚さ 500 nm
2. Si異方性エッチング
TMAH (25 wt%, 94 °C)
3. Pt/Ti下部電極・配線の形成
フォトリソグラフィ
4. BFO 圧電体薄膜の製膜
5. Pt上部電極・配線の形成
フォトリソグラフィ



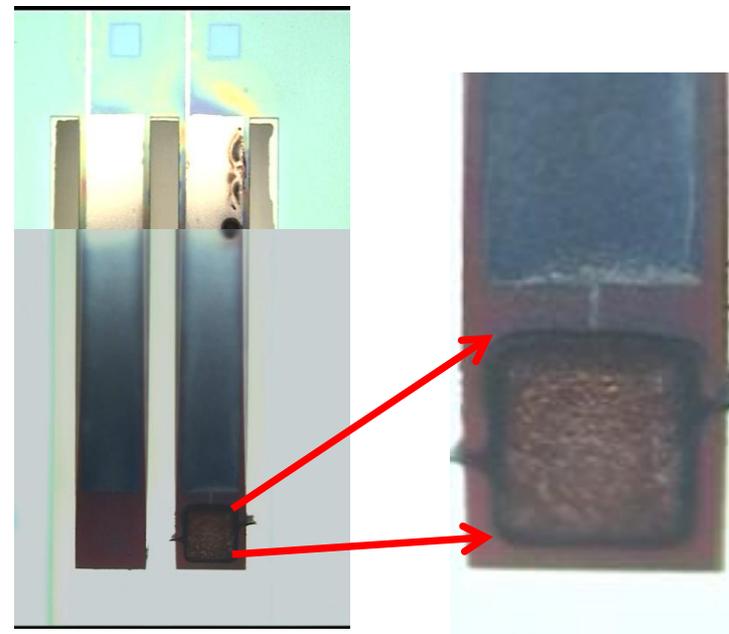
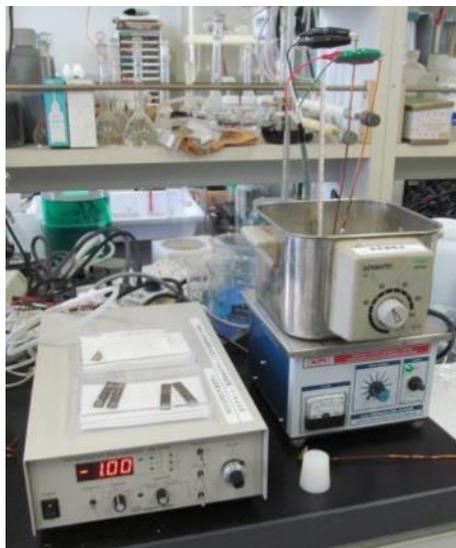
6. カンチレバーの形成
(BHF and RIE)

7. 裏面よりSi、 SiO_2 除去
(RIE and BHF)



幅 **0.4mm**, 長さ 1, 2, **3**, 4 mm
幅 1mm, 長さ 2, 3mm

■ めっきプロセス



ウォーターバスにより

温度55~58°C

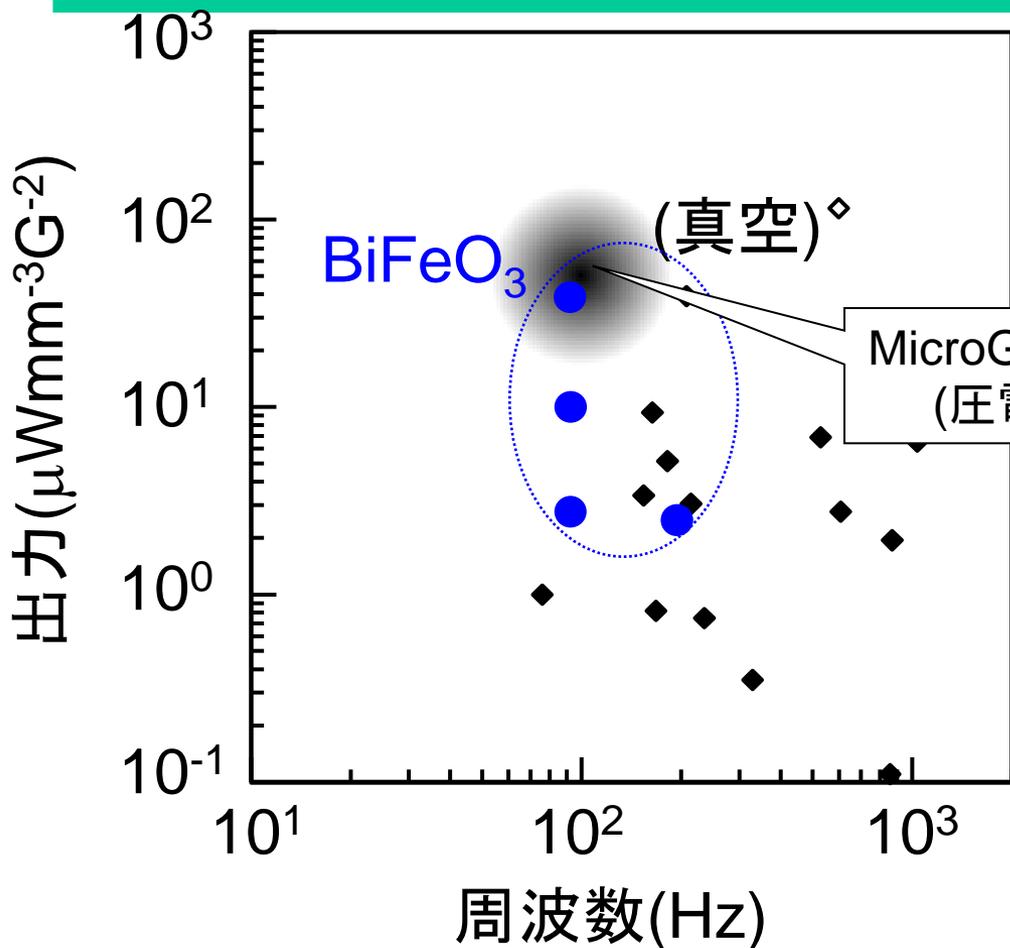
めっき浴: ピロドン原液50ml+精製水50ml

アンモニア0.3mlを添加し、pH調整。

電流密度 3 A/dm² に設定。

めっき層の厚さ: 49 μm
めっき領域: 0.35 mm[□]

MEMS研究紹介: 圧電型振動発電デバイス



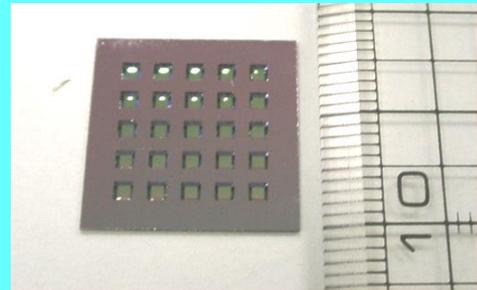
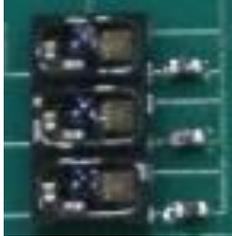
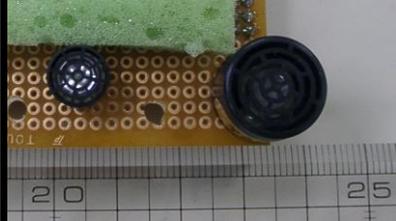
PZT (チタン酸ジルコン酸鉛)、AlN(窒化アルミニウム) など他の圧電材料を搭載した振動発電デバイスと同等、あるいは同等以上の発電性能を示した。

世界最高レベルの発電性能

S.-G. Kim et al., MRS Bulletin, 37 (2012) 1039.

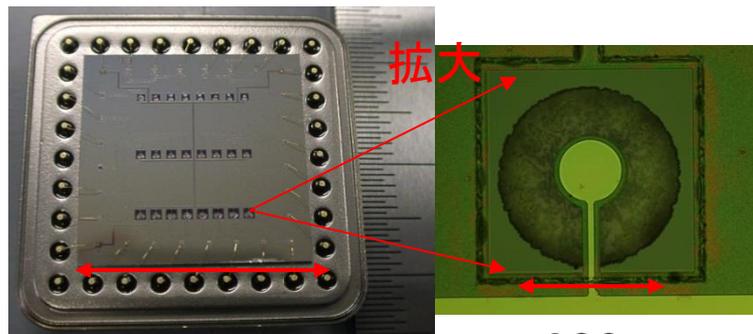
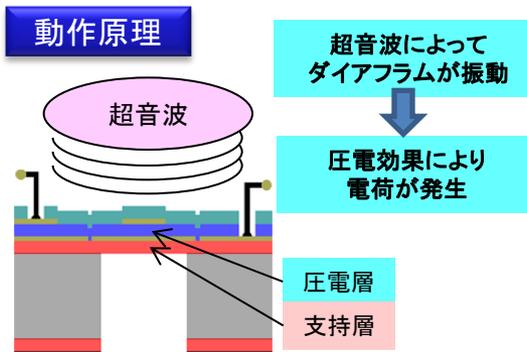
K. Morimoto et al. , Sens. Actuators, A, 163 (2010) 428.

MEMS研究紹介：超音波アレイセンサ

空中超音波 センサ	圧電型 PMUT Piezo Micromachined Ultrasonic Transducer	容量型 CMUT Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer	バルク型
		 6mm	
センサ単体の大きさ	1mm角	4mm × 6mm	φ10~16mm
アレイ化	同一基板上に容易 シリコンモノリシック	アレイ化された 市販センサは無い	難しい
特徴	構造作製が容易 マイクロアレイ化に最適	微小容量変化検出 素子直近に要検出回路	送受信可能
共振周波数	40~200kHz Q10~100	ブロード Q小	40kHz Q100
受信感度 1V/Pa≒0dB	-50~-63dB	-37~-47dB	-34~-43dB

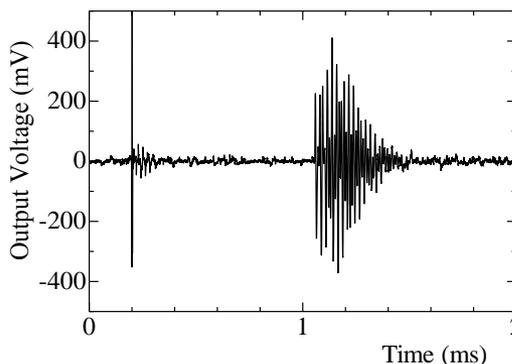
MEMS超音波センサ

超音波発生器（火花放電、バルクセンサ等）から送波された超音波が、障害物から反射して受波される。その超音波を検知して電気信号に変換して出力する。

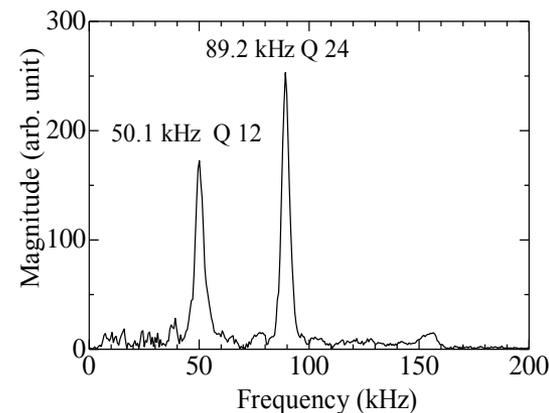


600 μ m
センサ像

チップサイズ
18mm角
24センサアレイ



出力信号



周波数特性

受信感度 $194\mu\text{V}/\text{Pa} -74\text{dBV}$ → 従来型センサの5倍強

4、MEMSデバイスの開発について

MEMS一貫プロセス（大阪府立産技研）



クリーンルーム



超純水作製装置

設計

マスク作製

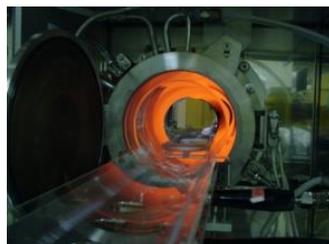


マスク作製装置



スパッタ装置

製膜



半導体熱処理炉
LPCVD(SiN, Poly-Si)

パターニング



マスクアライナ



ICP-RIE

Si微細加工



ダイサー

完成



プラズマエッチング
装置(Dry)



Wetプロセス

大阪府立産業技術総合研究所のMEMS一貫プロセス

研究開発用シリコン深堀り装置のご紹介

【本装置は、ドライエッチングにより、シリコン基板を深く掘る装置です。】



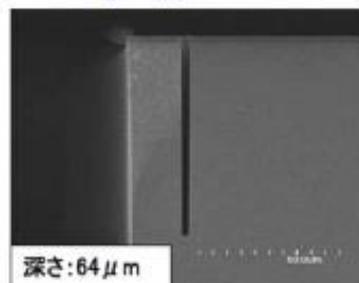
図1 研究開発向けシリコン深堀り装置
(MUC-21 ASE-SRE、SPPテクノロジーズ(株)製)

本装置の特徴(仕様表からの抜粋)

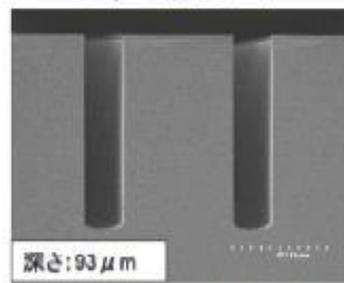
- シリコン基板の垂直深掘りが可能。
エッチング側壁角度 $90^{\circ} \pm 1^{\circ}$ 以下
- 大型のシリコン基板へのエッチングが可能。
最大サイズは、8インチ(200mm)径
- 高速加工が可能です(加工速度: $5 \mu\text{m}/\text{分}$)。
- ボッシュプロセスによる高い選択比を有す。
- シリコン: フォトレジストの選択比 100以上。
- シリコン: シリコン酸化膜の選択比 200以上。
- アスペクト(幅: 深さ(または高さ))比 30以上。
- 低スカロップ加工が可能、低ノッチ加工が可能。

本装置は、平成27年度機械工業振興補助事業 振興事業補助
「公設工業試験研究所等における機械設備拡充補助事業」を受けています。

3 μm 幅トレンチ



20 μm 幅トレンチ



50 μm 幅ポール

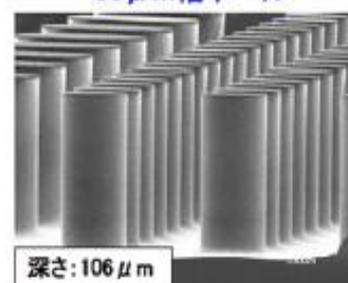


図2 本装置による加工例

信号処理技術分野の紹介 (超音波アレイ信号処理)

フェイズド・アレイ方式

測定対象物

送信センサ

受信アレイセンサ

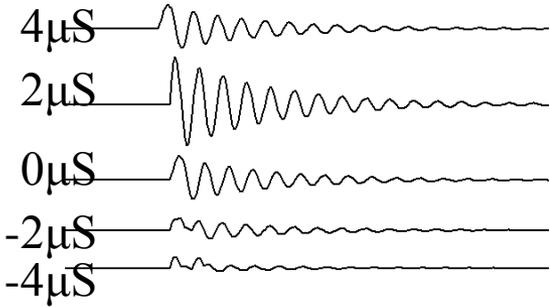
送信波

反射波

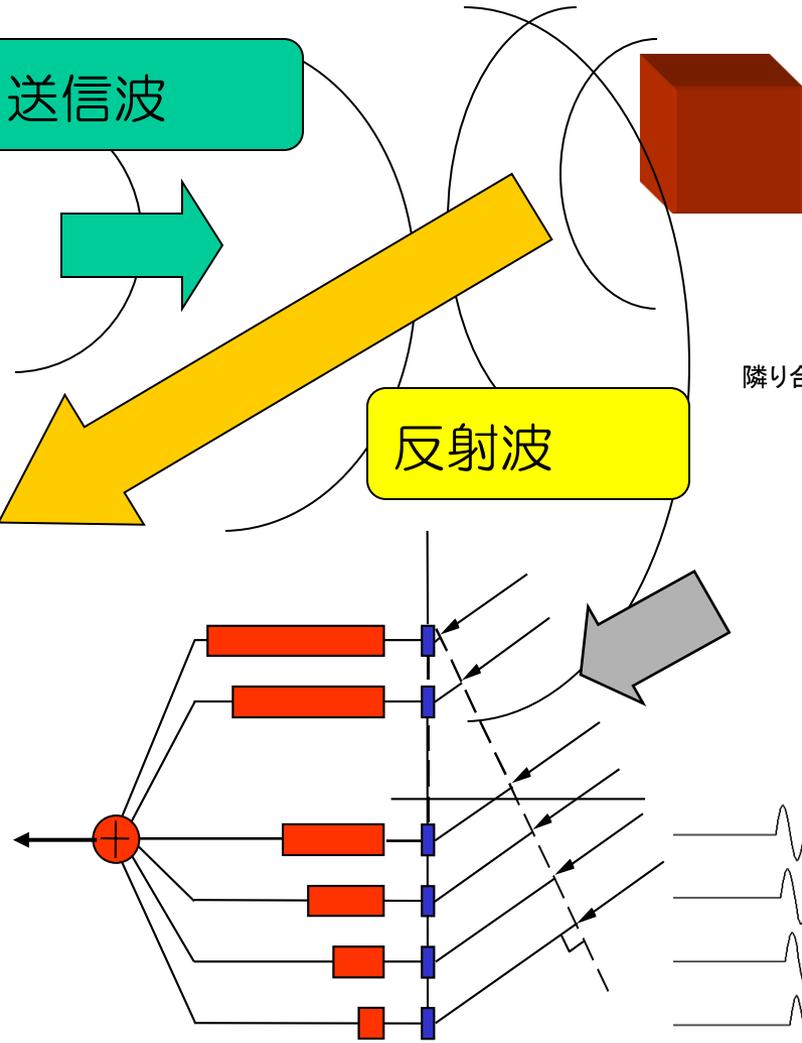
隣り合う素子間の超音波の到達時間の差(τ)

$$\tau = \frac{d \sin \theta}{v}$$

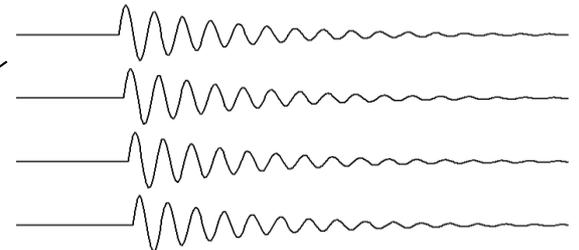
d : 素子間距離 (1.7mm)
 v : 音波速度 (約340m/S)



遅延時間

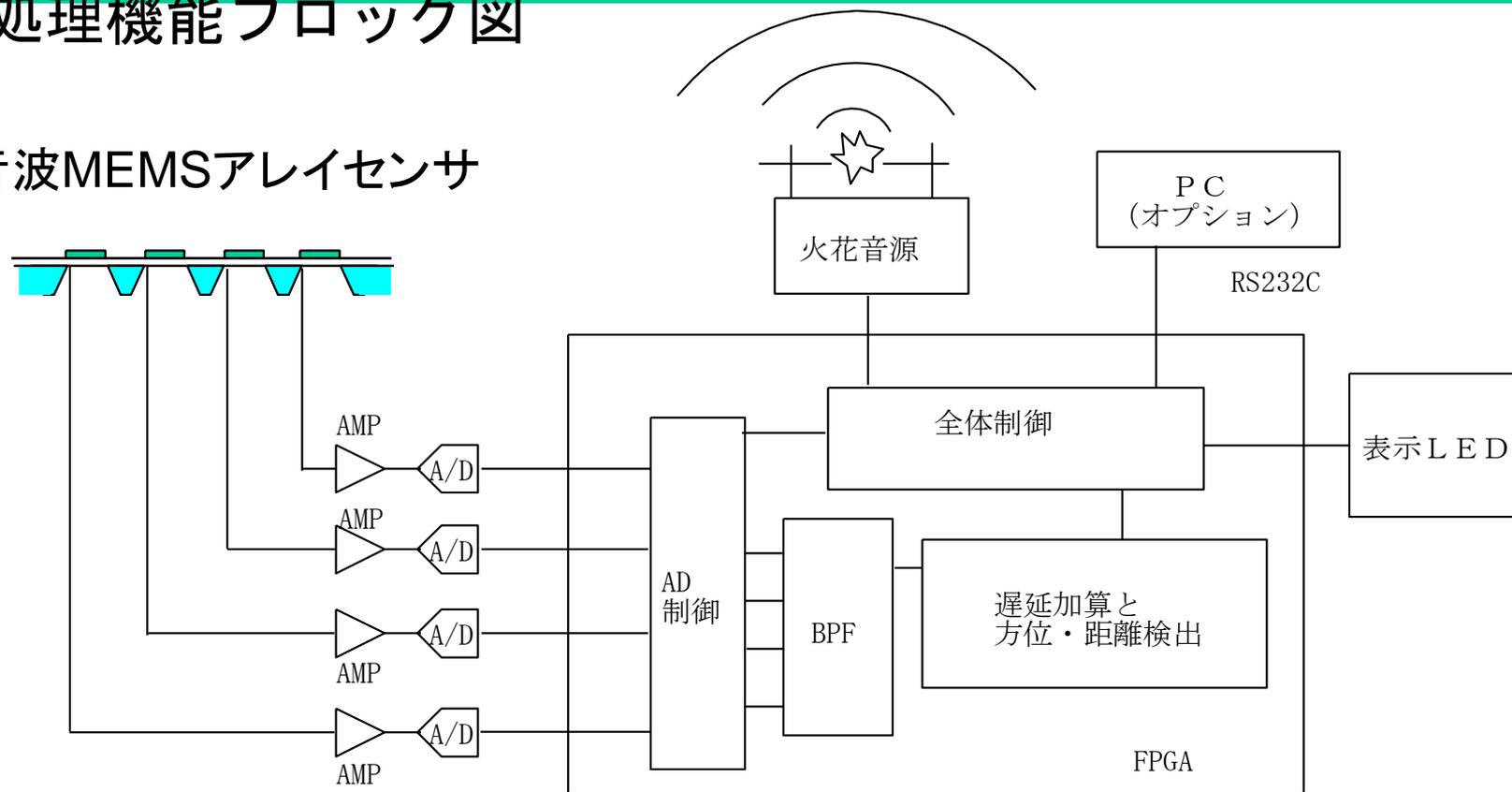


入射波形



信号処理機能ブロック図

超音波MEMSアレイセンサ



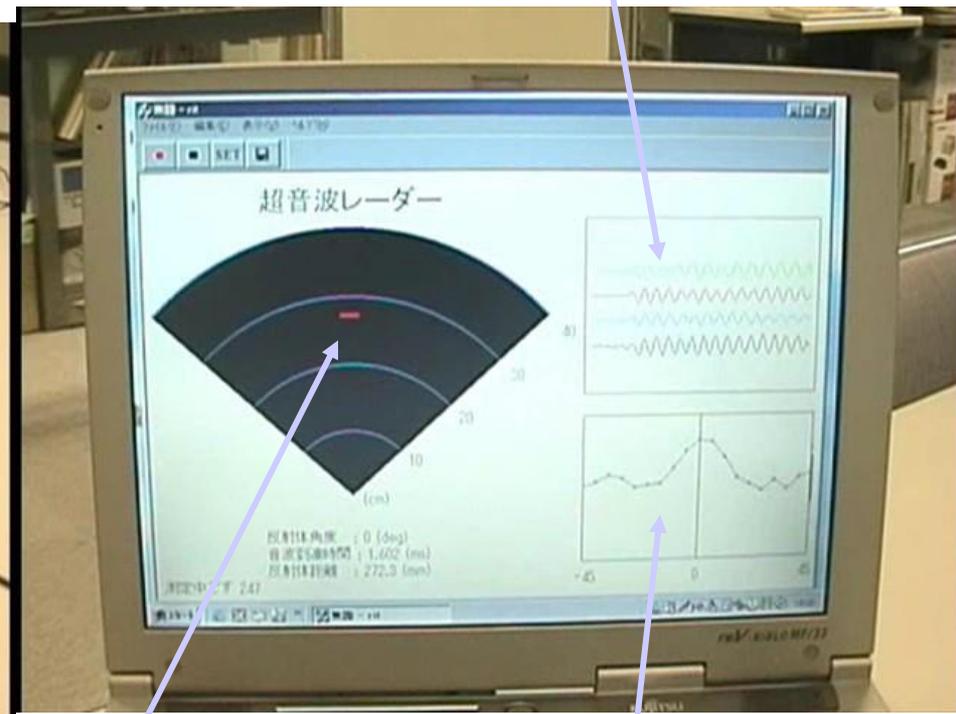
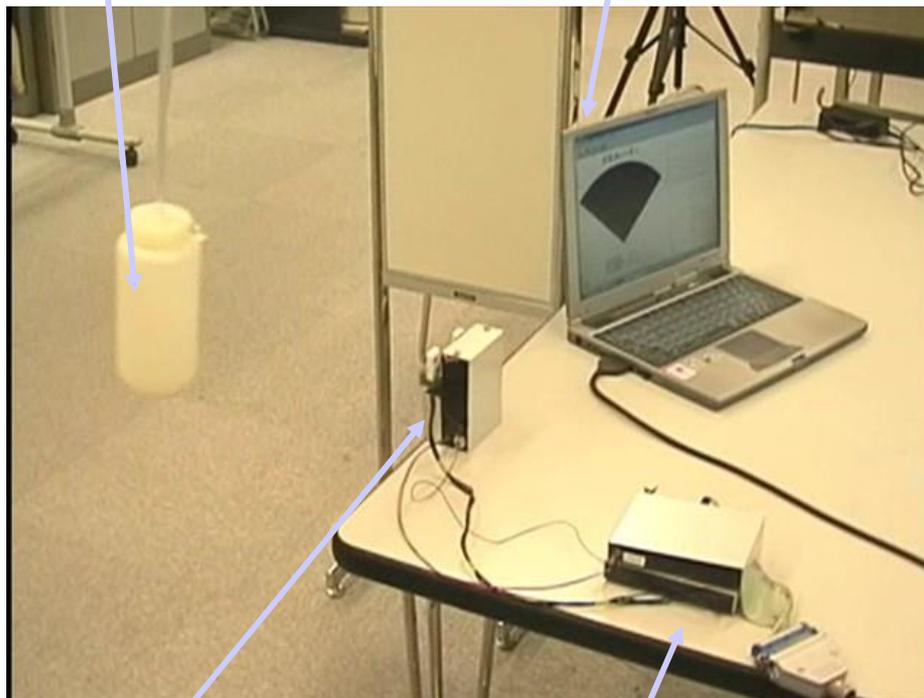
計測範囲 左右±42度、計測間隔 7度
距離分解能 5cm間隔

信号処理技術分野の紹介 (超音波アレイ信号処理)

計測対象物体

制御・表示PC

センサの出力波形



センサと音源部

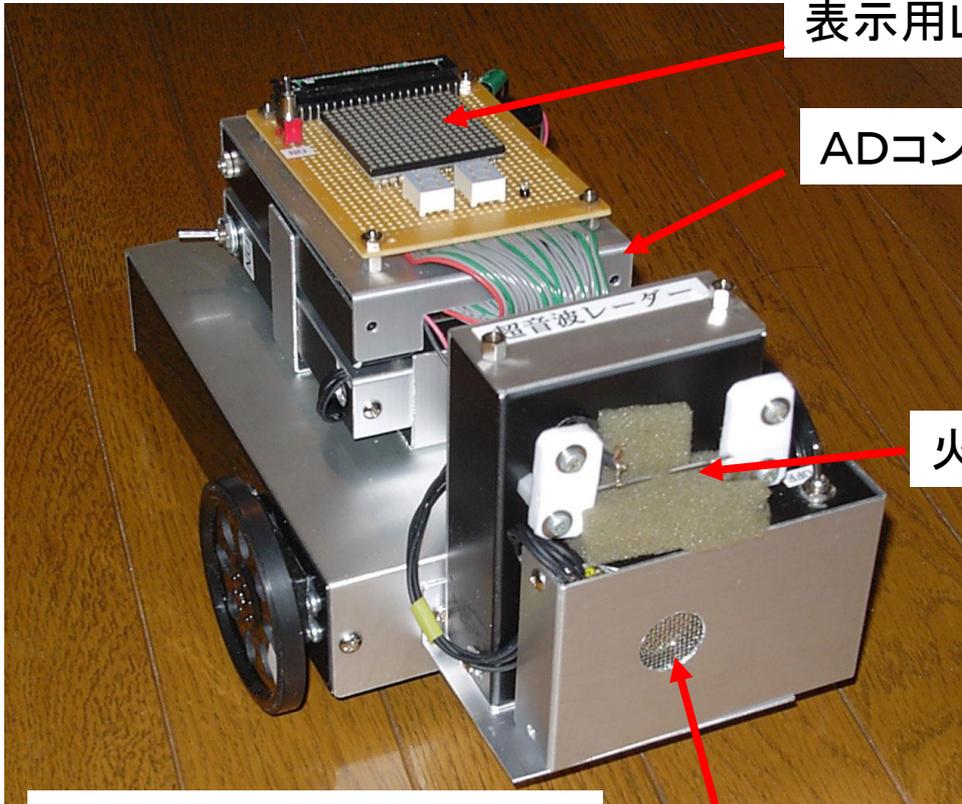
計測システム
FPGAとADC

計測対象物体の位置

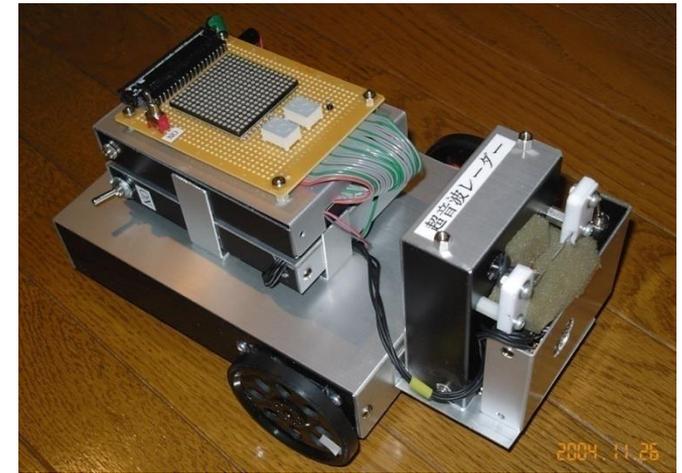
遅延加算結果

計測レート 7回/秒

応用事例(移動ロボット用センサ)



幅 約15cm
長さ 約20cm
前進の速度 約25cm/s



仕様
計測範囲 左右±42度、計測間隔 7度
距離分解能 1cm間隔
(遅延加算の結果が最大値になる点で計算)

本研究は、(独)中小企業基盤整備機構の戦略的基盤技術力強化事業の補助金を得て実施されました



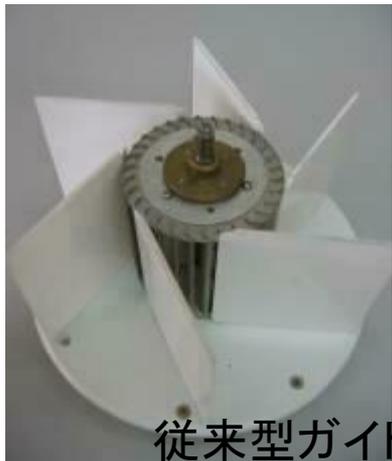
FGV付クロスフロー風車

クロスフロー風車の特徴

- ・低風速から回りだす.
- ・風向きの変化による影響が少ない.
- ・設置場所の融通が利く.
- ・風切り音が発生しにくい.

FGV(フレキシブルガイドベーン)の特徴

- ・強風域で性能向上.
- ・過回転を防止.
- ・風洞では効果あり.



従来型ガイドベーン

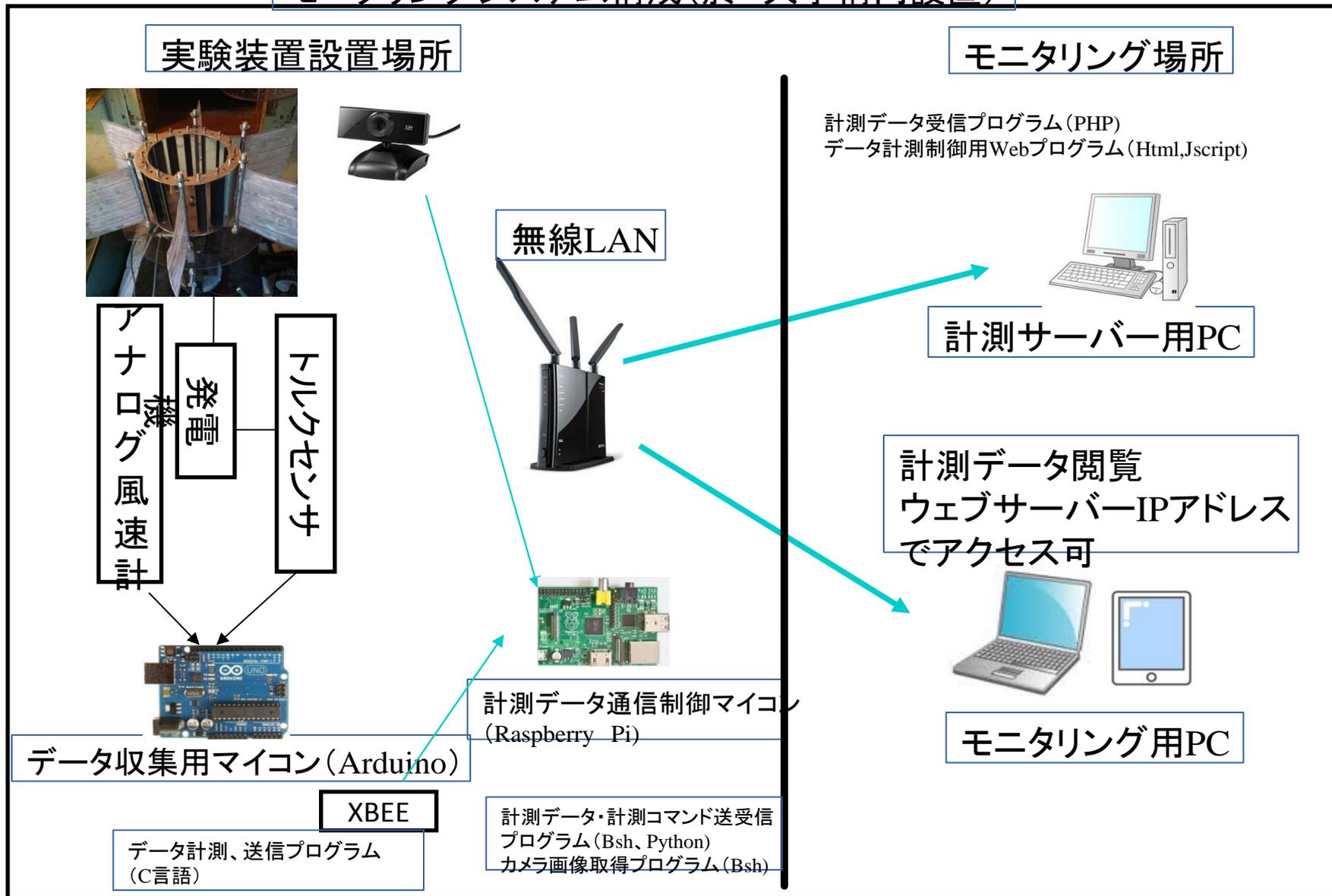
風速12m/sの風



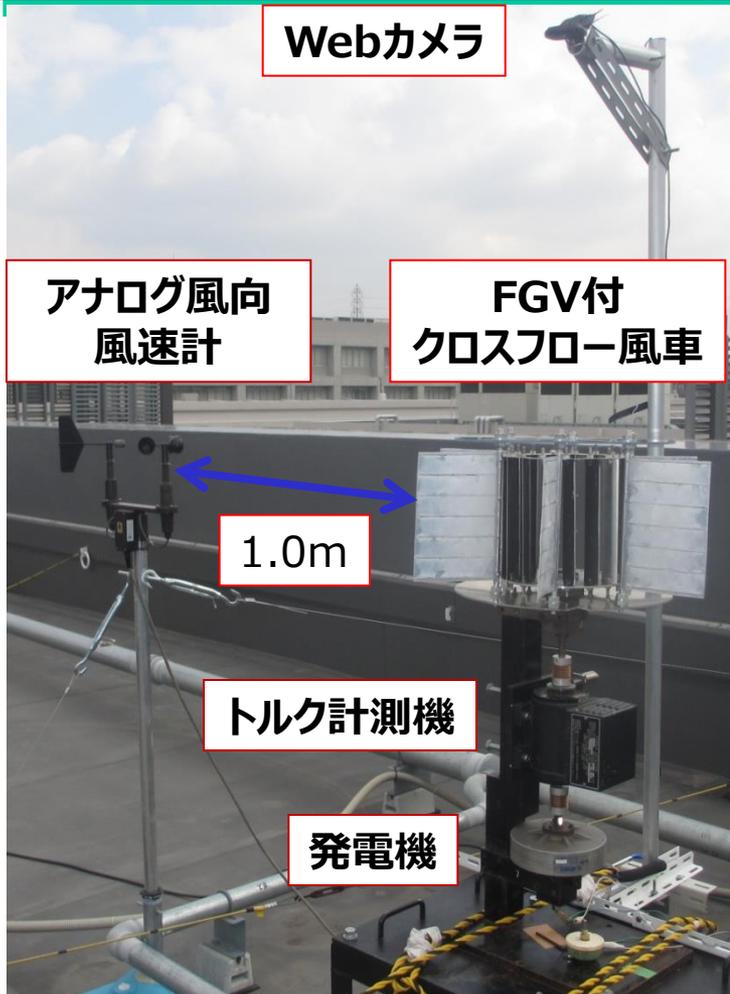
可撓性を持たせ
流量を調整

計測制御システム技術分野の紹介 (風力発電モニタリング)

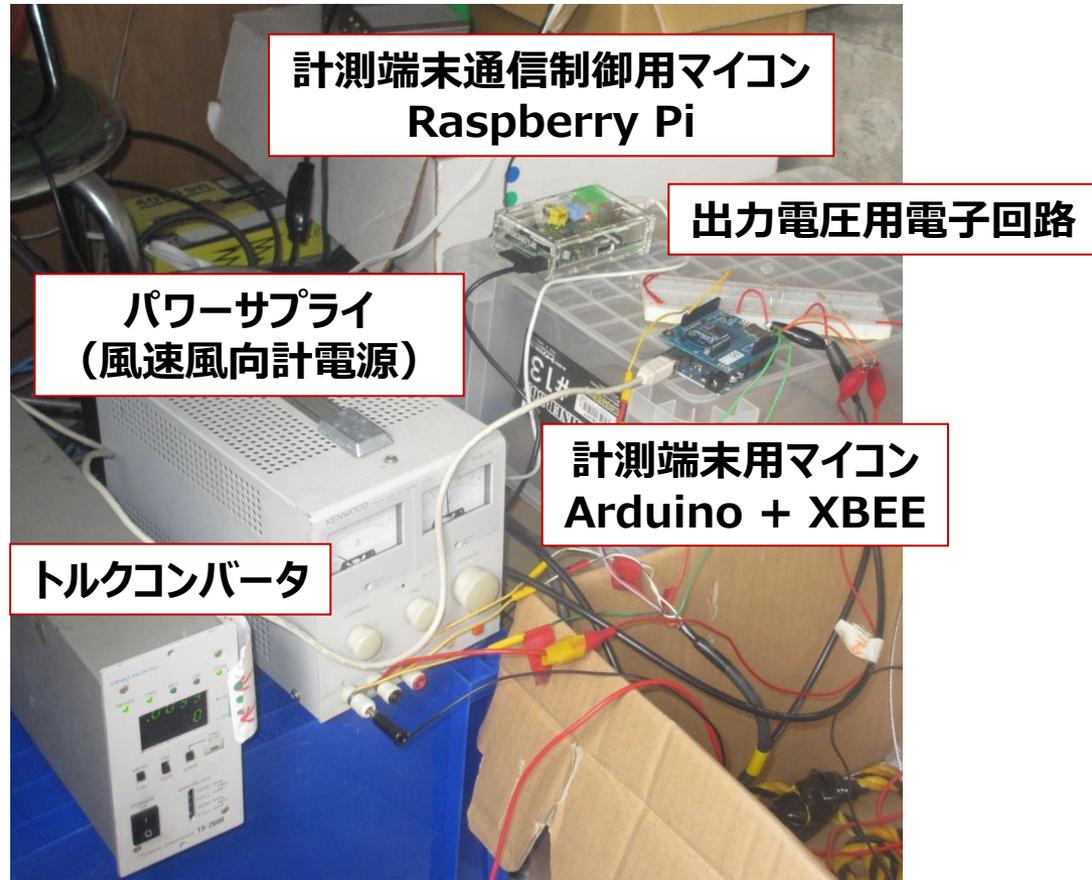
モニタリングシステム構成(於 大学構内設置)



計測制御システム技術分野の紹介 (風力発電モニタリング)



B4棟屋上



B4棟屋上小屋

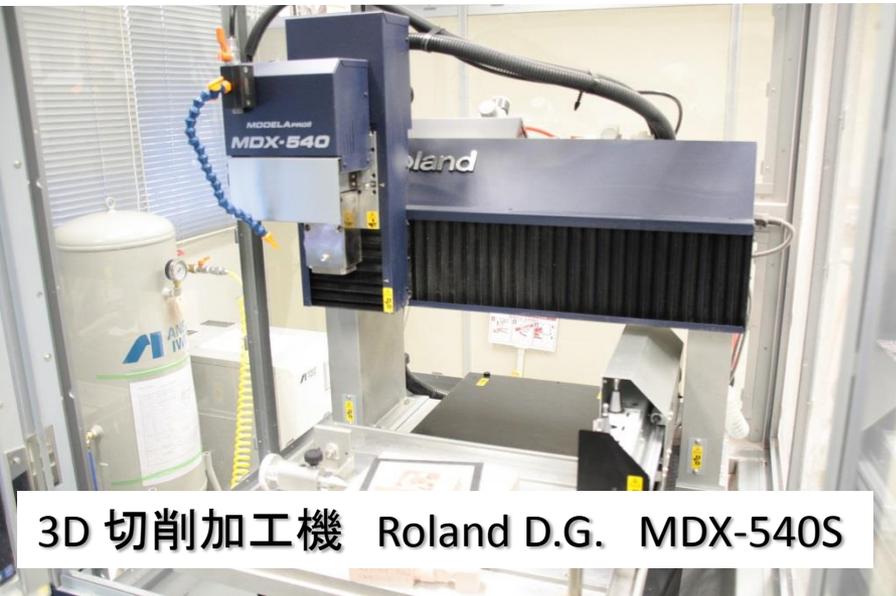
ものづくり設計試作工房 「TRI試作工房」



3Dスキャナ NextEngine HD Pro



3Dプリンタ
キーエンス株式会社 AGILISTA-3100



3D 切削加工機 Roland D.G. MDX-540S

3Dプリンタ装置

(株)キーエンス社製 Agilista(アジリスタ) 3100
使用材料:光硬化性樹脂

3次元切削加工機

(株)ローランドD.G.社製 MDX-540S
使用材料:樹脂、軽金属材料

3Dスキャナ装置

NextEngine(ネクストエンジン)社製 Scan HD Pro

3DCAD

- ・IronCAD(アイアン CAD) ソリッド系CAD
- ・Rhinceros(ライノセラス) サーフェス系CAD

3Dプリンタ装置の仕様

使用材料	モデル材 AR-M2(UV硬化性 透明樹脂)
造形方法	インクジェット式造形
造形サイズ	297mm(X) × 210mm(Y) × 200mm(Z)
積層ピッチ	0.015mm or 0.02mm
入力データ	STLファイル*

* Parasolid、IGESなど他のCADフォーマットも、別途相談に応じます。

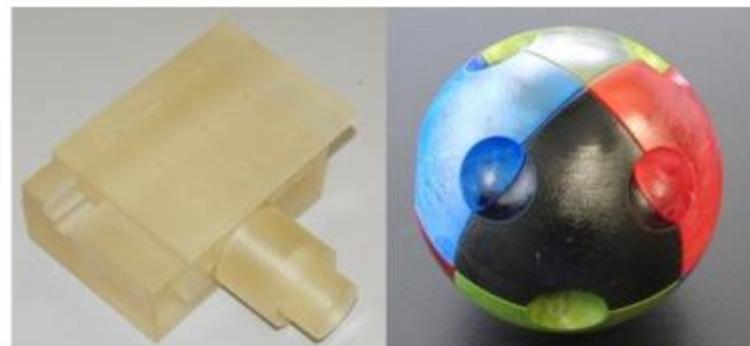
3次元切削加工機の仕様

加工可能な材料	ケミカルウッド、木材、樹脂、真鍮、アルミ合金
動作ストローク	500mm(X) × 400mm(Y) × 155mm(Z)
テーブルサイズ	550mm(X) × 420mm(Y)
ワーク重量	最大20Kg
スピンドル回転速度	400 ~ 12000rpm
機械的分解能	0.001mm/step
制御コマンド	RML,NCコード
ソフトウェア分解能	0.01mm/step [RML]0.001mm/step [NCコード]
位置決め精度(X、Y各軸)	±0.1mm/300mm(無負荷条件)

3Dスキャナ装置の仕様

	Macro モード	Wide モード	Extended モード
焦点距離 mm	165.1	438.1	438.1
スキャン範囲 (横縦幅)mm	76.2 x 127	254 x 330.2	406.2 x 558.8
スキャン範囲 (奥行き)mm	101.6	177.8	381
精度 mm	0.127	0.381	0.381
スキャン速度 (1表面)秒	数10秒(Quickモード)～数分(HDモード)		

3Dプリンタによる試作事例



可動ステージ

球体 (染色)