

文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム  
次世代自動車のための産学連携イノベーション  
人材育成プログラム Basic Phase 成果発表会

「車載用燃焼圧センサ材料と量産化技術の開発」

東北大学 未来科学技術共同研究センター/金属材料研究所

教授

吉川 彰

- 東北大学 未来科学技術共同研究センター
- 東北大学 未来科学技術共同研究センター
- 東北大学 金属材料研究所
- 東北大学 未来科学技術共同研究センター

准教授

横田 有為

准教授

鎌田 圭

助教

黒澤 俊介

助教

Jan Pejchal

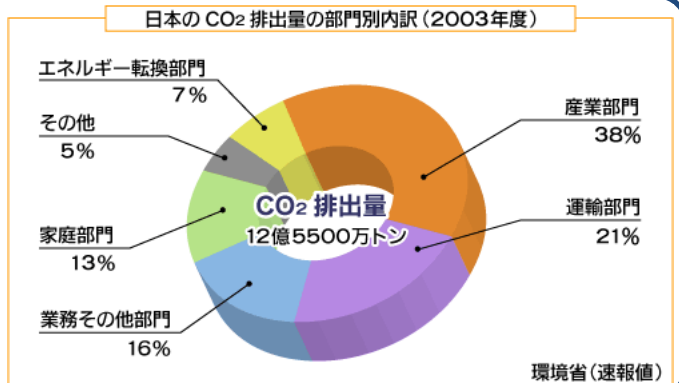
# ガソリン車における新規エンジンセンサーの必要性

電力不足や技術開発の必要性から2050年においても約4割のガソリン車が普及していると予想されている。

NISSANグリーンプログラム

[http://www.nissanglobal.com/JP/ENVIRONMENT/GREENPROGRAM\\_2010/](http://www.nissanglobal.com/JP/ENVIRONMENT/GREENPROGRAM_2010/)

CO<sub>2</sub>削減目標を達成するためには、電気自動車や燃料電池自動車が普及するまでの中間技術として、**ガソリン車の即効性CO<sub>2</sub>削減技術の開発が重要。**



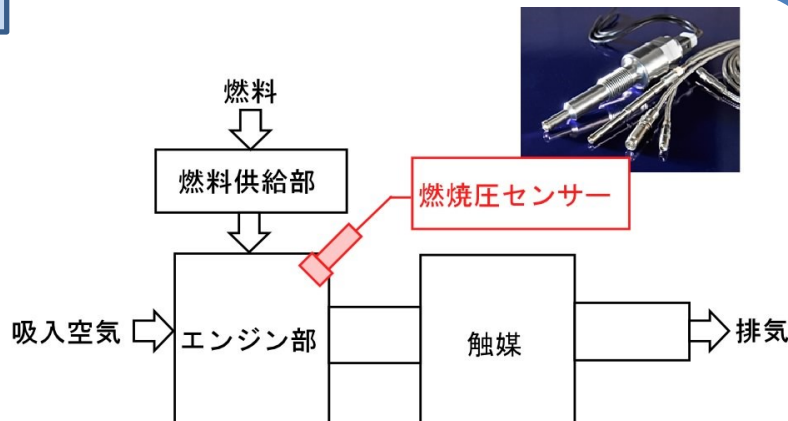
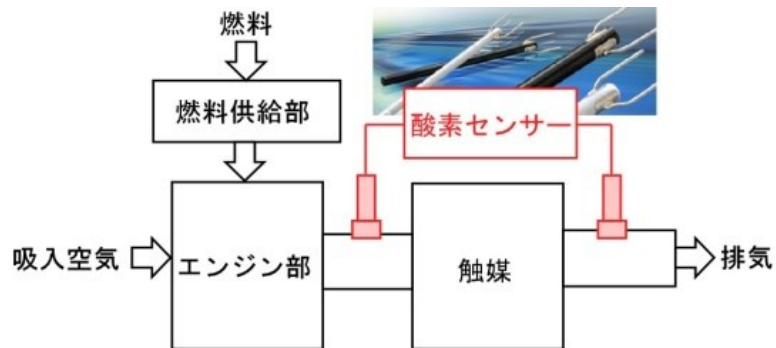
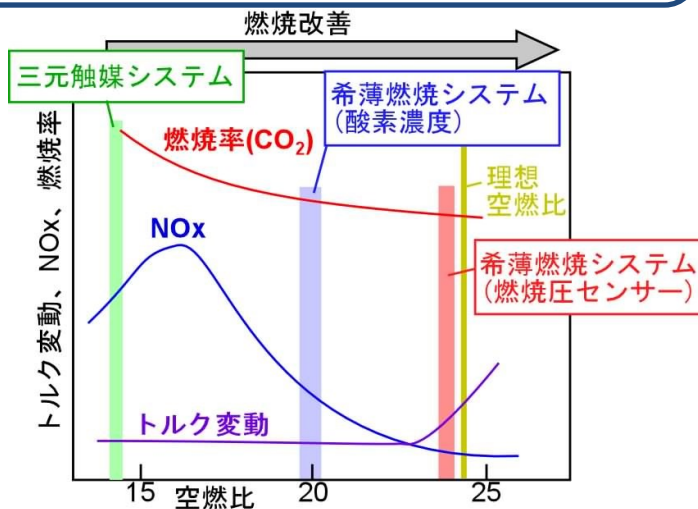
酸素センサーを用いた希薄燃焼システムでは燃焼率が悪く、CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>排出量も多い。



トルク変動を燃焼圧センサーで直接検知することで、更なる燃焼率改善、CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>排出量低減が可能。

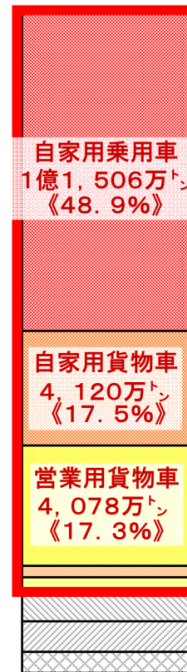
低トルク変動と低CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>を両立

燃費改善効果：M/T車 約10%, A/T車 約4%



# 燃焼圧センサーによるCO<sub>2</sub>削減量予測

## 運輸部門におけるCO<sub>2</sub>排出量



- 自動車全体で運輸部門の86.5% (日本全体の16.9%)
- 貨物自動車は運輸部門の34.5% (日本全体の6.7%)

- バス 433万トン《1.8%》
- タクシー 406万トン《1.7%》
- 内航海運 1,166万トン《5.0%》
- 航空 1,028万トン《4.4%》
- 鉄道 801万トン《3.4%》

「運輸部門における地球温暖化対策について」  
国土交通省 北陸信越運輸局 交通環境部  
環境課 (平成22年8月31日)

## 2020年中期目標達成のための対策

部門	対策内容	削減量
運輸	次世代自動車 ・ 燃費向上	約2,100万t
	交通流対策	約1,600万t

・ 燃焼圧センサによりAT車では約4%、MT車では約10%の燃費改善が期待 (平均7%)

トヨタの試算

・ 2020年では自動車の8割をガソリン車が占める。

国立環境研究所AIM プロジェクトチームの報告(平成24年度)

・ 運輸部門の自動車によるCO<sub>2</sub>排出量は、**2億543万トン/年(2008年度)**

国土交通省の報告

全自動車のうち2割に本事業で開発する燃焼圧センサ技術が採用されたと仮定すると、

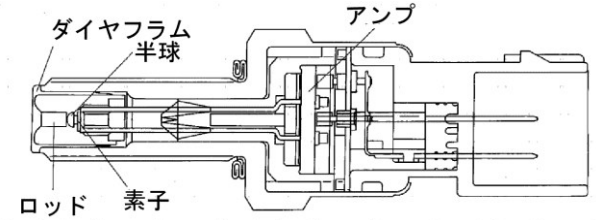
$$20,543万トン \times 7\%(\text{燃費改善}) \times 20\%(\text{普及率}) \times 80\%(\text{ガソリン車の割合}) = 230万トン$$

年間CO<sub>2</sub>削減量：  
**230万t-CO<sub>2</sub>**

# 燃焼圧センサ用圧電結晶の特徴と低コスト化の必要性

燃焼圧センサーは、ダイヤフラム、圧力素子、増幅用アンプの3つの主要部位から構成

燃焼圧センサー内の圧電素子は、直接シリンダー内に設置されるため耐熱温度400°C以上



燃焼圧センサーの構成図

圧電素子として一般的な水晶やPZTは、耐熱温度が低く、水冷設備が必要。

水晶の2~3倍の圧電定数を有し高温まで動作可能(キュリー温度 > 1300°C以上)なランガサイト型材料が注目された。

ランガサイト型結晶の製造コストが水晶圧電素子の100倍以上

目標価格

現在の燃焼圧センサーの市場価格:約18万円

➡ 目標価格:1000円/個 (約1/200)

	水晶	PZT	ランガサイト型構造
キュリー温度(°C)	573	~300	>1300
圧電定数(pC/N)	2.0	~300	4 - 7
電気機械結合定数(%)	10	30 - 70	~ 15
機械的品質係数	> 10 <sup>5</sup>	100 - 900	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>

戦略

- ①形状制御結晶作製技術による製造コスト削減
- ②原材料費の低減

# 戦略①：圧電材料製造工程フローの比較

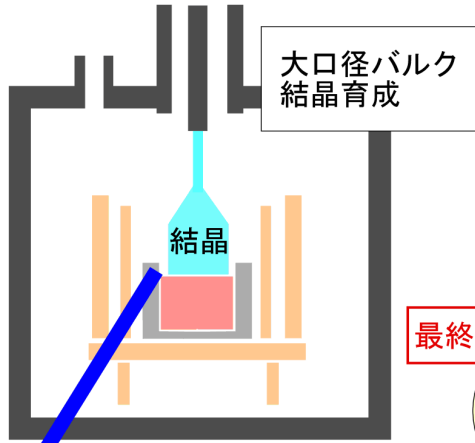
## Cz法による大型バルク単結晶作製

## μ-PD法による形状制御単結晶作製

### 特徴

- ・ 大口径結晶が育成可
- ・ 結晶歪みが少ない
- ・ 2重坩堝方式による組成制御が可能
- ・ 部材消費が大きい
- ・ 成長速度が遅い(~1 mm/h)
- ・ 加工ロスが大きい
- ・ 装置・坩堝が高額で初期投資が大きい
- ・ 原料の30~70%程度しか単結晶化できない
- ・ 結晶育成後の残メルト処理が必要

大口径バルク結晶育成



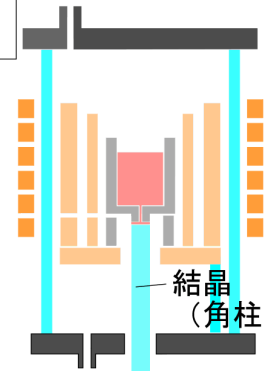
精密ワイヤーソーによる切断



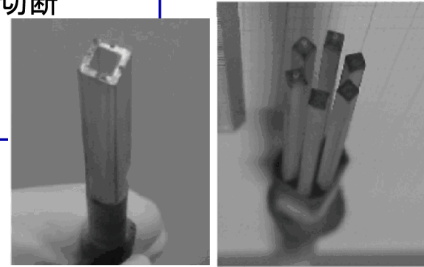
### 特徴

- ・ 形状制御単結晶作製
- ・ 連続チャージが可能
- ・ マルチ結晶育成が可能
- ・ 部材消費が少ない
- ・ 加工ロスが少ない
- ・ 高速結晶作製(~10 mm/h)
- ・ Cz法に比べて初期投資が少ない(約1/3)
- ・ 原料のほぼ100%を単結晶化可能
- ・ 偏析制御が難しい
- ・ 結晶径が小さい

形状制御結晶育成



精密ワイヤーソーによる切断



最終的なデバイス素子

切断加工に伴う時間ロス、原料ロス、結晶へのダメージがμ-PD法の方が少ない

生産能力:12千個/月

約3倍

生産能力:12千個/月産

育成歩留 70%  
加工歩留 60%  
総合歩留: 42% 試算

約2倍

育成歩留 95%  
加工歩留 95%  
総合歩留: 90% 試算

生産数;5千個/月/台

約2倍

生産数;10千個/月/台

設備費;6000万円

約1/5

設備費;1200万円

# 戦略①:これまでの成果

- ランガサイト融液と濡れ性が最適となる坩堝材合金を開発した。(特許取得済み)
- $\mu$ -PD法を用いてサファイア単結晶の形状制御結晶の育成に成功(要素技術の実証)

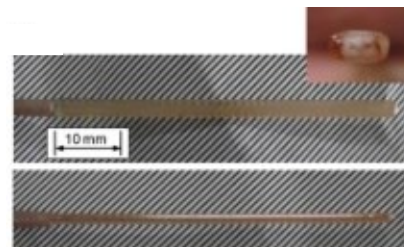


ランガサイト融液と  
開発したPt合金



形状制御サファイア結晶

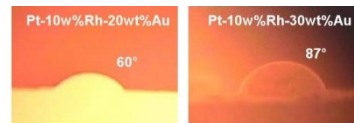
- 量産用低コスト低消費電力 $\mu$ -PD装置を開発(価格1/2、消費電力2/3、設置面積2/3)
- 開発した $\mu$ -PD装置を用いた形状制御ランガサイト型圧電結晶の作製技術を確立



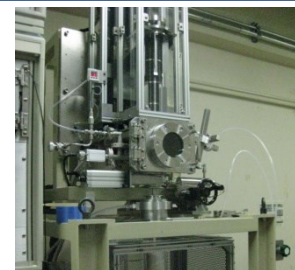
量産用  
 $\mu$ -PD装置

形状制御圧電結晶

- 育成用坩堝の低コスト化技術の開発(特殊合金坩堝の鑄造技術及びダイ脱着技術)
- 連続原料供給システムの開発・実証



坩堝開発



連続原料供給  
システム

# 戦略②：圧電素子原料費の低減

## 希土類フリー材料の開発

希少元素含有量  
(酸素は除く)      必要な原料材料費

$\text{La}_3\text{TaGa}_{5.5}\text{O}_{14}$	~100%	~600円/g
↓ ↓ ↓ ↓		
$\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$	~44%	~450円/g

## 各原料材料費

$\text{La}_2\text{O}_3$	250円/g
$\text{Ta}_2\text{O}_5$	300円/g
$\text{Nb}_2\text{O}_3$	100円/g
$\text{Ga}_2\text{O}_3$	1000円/g
$\text{CaCO}_3$	60円/g
$\text{SiO}_2$	30円/g
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10円/g

希土類元素LaをCaで置き換え、さらにGaの約45%を削減

## 希土類希少元素フリー材料の開発

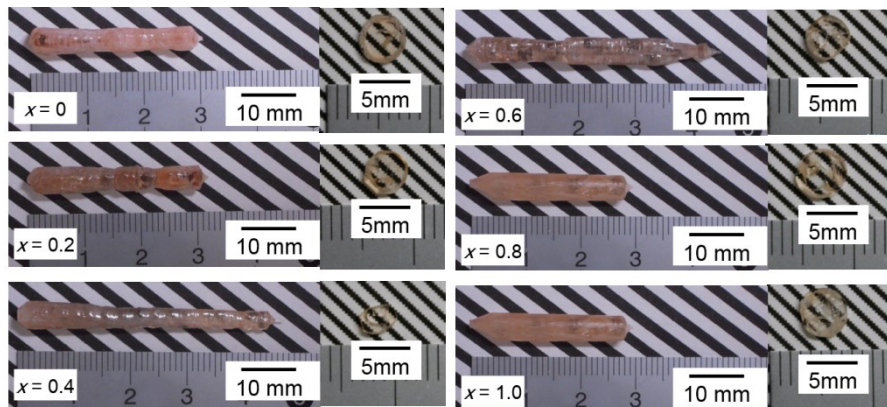
$\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$	~44%	~450円/g
↓ ↓		
$\text{Ca}_3\text{Nb}(\text{Ga},\text{Al})_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$	~11%	~30円/g

Al全置換試料を開発すれば、既存材料の1/20の原料費の達成が可能

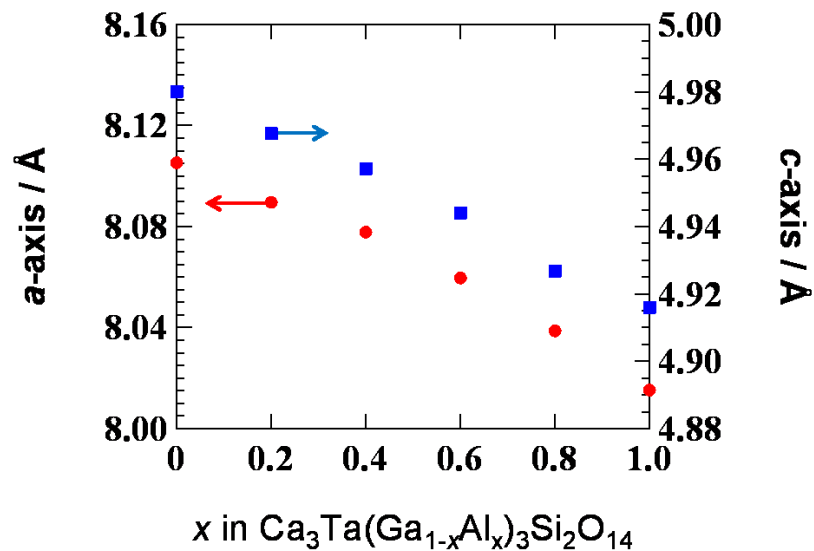
これまでは、圧電素子結晶を外国メーカー(一社独占)から購入していた。  
本事業では、全て国内企業による純国産製燃焼圧センサーを実現することで  
素子価格の大幅低減を実現する。

# 戦略②:これまでの成果

## Ca<sub>3</sub>Ta(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>14</sub>結晶

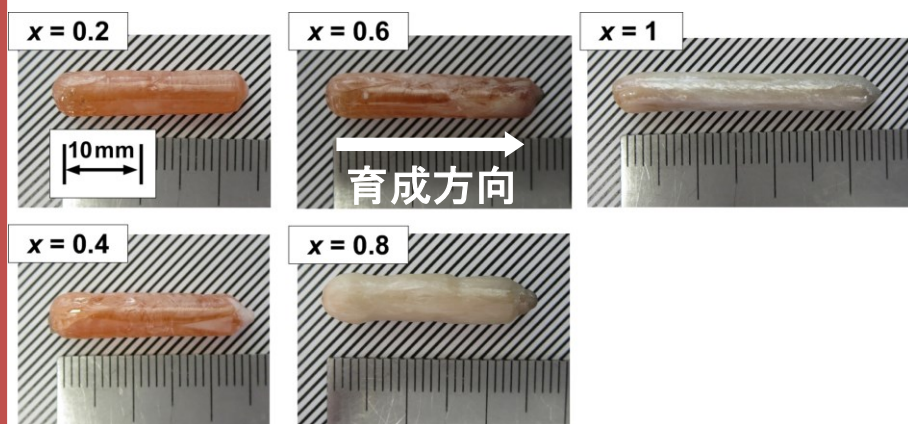


全てのAl置換量で、内部が透明な単結晶試料が得られた。

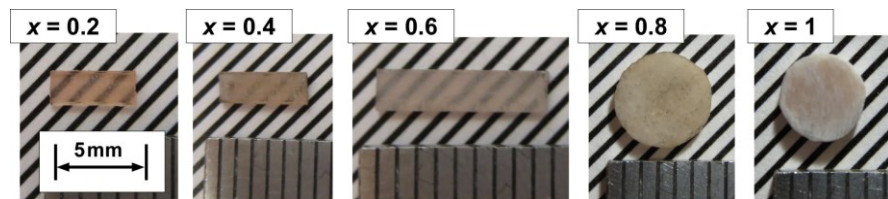


Al置換量に従って系統的に格子定数が減少した。

## Ca<sub>3</sub>Nb(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>14</sub>結晶



## 研磨試料



x = 0.6以下の組成で、内部が透明な単結晶試料が得られた。

希土類元素Laと希少元素Gaの100%削減に成功した。

現在は、当該結晶素子を用いた試作器を開発中である。