

圧電体薄膜を用いた燃焼圧センサーの開発

可能性の実証

地球温暖化の原因の1つと考えられているCO₂排出の抑制や石油価格の大幅な変動などの影響から、自動車メーカーにとって車の燃費をさらに向上させ、CO₂の排出量を減らすことがとても重要な技術課題の1つとなっています。自動車の運動性能を落とさずに燃費を向上させるためには、車体の軽量化やタイヤの性能アップなどとともに、エンジン内での精密な燃料の燃焼制御技術が必要とされています。燃焼の緻密な制御のためには、無冷却で400℃以上の高温で長期間安定に作動する小型の燃焼圧センサーの開発が強く求められています。

自動車用の燃焼圧センサーとしては、検出部分に圧電体（圧力を電気信号に変換する物質）を用いた圧電型センサーが最も多く研究されています。圧電体にはチタン酸ジルコン酸鉛（PZT）という複合金属酸化物が最も多く使用されますが、PZTの結晶構造が変化する温度が300℃付近にあるため、燃焼圧センサーに使用することが困難です。また、機械的な応力の繰り返しによる圧電性の低下や高い圧力に対する誘起電荷の飽和、有害元素である鉛の含有など課題を抱えています。現在、大学や企業などの研究室レベル

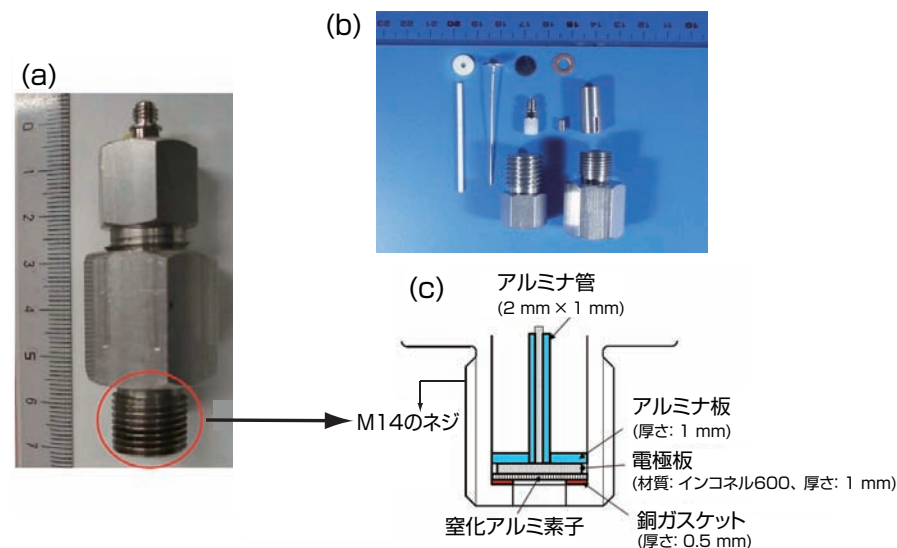


図1 窒化アルミニウムを用いた燃焼圧センサー外観 (a) とセンサーの部品 (b)、検知部分の内部構造 (c)

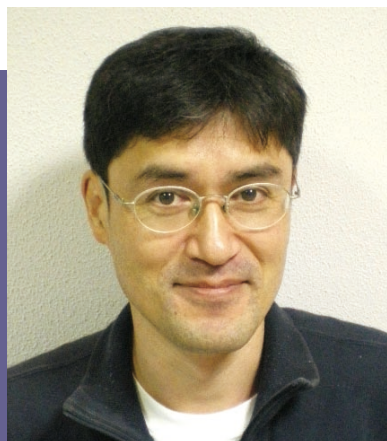
では、水晶を用いた燃焼圧センサーが最も多く使用されています。しかし、水晶は350℃を超えると感度が低下し始め、573℃で結晶構造が変化するため、高温での使用には限界があります。また、価格や長期安定性に課題があり、一般的な量産車には搭載されていません。

私たちは15年前から窒化アルミニウム（AlN）という圧電体に注目し、結晶の方向がバラバラな多結晶基板上に結晶の方向がそろったAlN薄膜を作製し、AlN薄膜に高い圧電性を発現させる研究を行ってきました。燃焼圧セン

サーにAlN薄膜を応用するためには、合金基板上にAlN薄膜を作製する必要がでてきたため、高周波マグネトロン反応性スパッタリング法を用いて、さまざまな作製条件を検討しました。その結果、合金上でも結晶の方向がそろったAlN薄膜を作製することに成功し、圧電性は水晶より高く、圧力範囲0.1～300.0 MPaにおいて直線性を示し、400℃でも安定に作動することを確認しました。

基礎データの必要性

困難と考えられていた合金基板上にAlN薄膜を作製することに成功し、十分な圧電性を示すことを実証し、あとは企業にAlN薄膜の作製技術を移転させるだけだと思っていました。しかし、ここからが「死の谷」の始まりでした。これまでAlN薄膜が燃焼圧センサーの検知材料として実用化された例がなく、自動車用の燃焼圧センサーに採用されるためには、高い信頼性と性能が要求され、さまざまな試験にパスする必要があります。また、AlNの粉末は大気中の水分と容易に反応して水



入以来、窒化アルミニウム薄膜の作製と振動センサーへの応用に関する研究に携わってきました。当初は多結晶基板上に高い結晶配向性を示す薄膜の結晶成長に興味をもち、基板材料や基板温度、圧力などの影響を詳しく調べていました。最近、高耐熱性の圧電体を発見し、不可能と考えられている高温高圧環境下での計測を夢んでいます。

秋山 守人（あきやま もりと）
m.akiyama@aist.go.jp
生産計測技術研究センター
プロセス計測チーム

酸化物とアンモニアに素早く分解されるため、そのことを知る研究者からは AlN 薄膜が大気中で安定に存在することすら疑われました。もちろん、私たちは経験上 AlN 薄膜が大気中でも安定に存在することはよく知っていたものの、湿度何%で何℃まで安定である、といった詳しいデータや論文などの参考文献がなく、自分たちでデータをとらなければならなくなりました。企業が必要とする耐環境性などの評価を実際に行った経験や装置もなく、研究者同士で話し合いながら、手探りで進めていくしかありませんでした。

次のステップは試作

さまざまな研究者の協力を得て、ようやく企業が安心できるようなデータをそろえることができ、合金上に作製した AlN 薄膜が、燃焼圧センサーの検知材料として十分な性能をもつことを

実証できました。しかし、まだ企業は動きませんでした。企業を動かすためにはセンサーを実際に作製、エンジンに搭載し、評価する必要が出てきました。しかし、私たちは燃焼圧センサーを作製した経験もなく、エンジンを使った評価試験方法も知りませんでした。ここまできなと思っていたところ、幸いメンバーの1人がなんとかセンサー設計(図1)を行い、試作品を作製し、エンジンを購入して穴を開けるなど実験環境を徐々に整えていき、最後は私たちの開発したセンサーによって、エンジンの燃焼圧波形を測定できるようになりました(図2)。測定の結果、AlN 薄膜センサーの出力波形は外部ノイズが少なく、市販品センサーと同等の出力形状が得られ、燃焼圧センサーとして十分使用可能であることを実証しました。これは研究者同士の協力のたまものです。

今後の展開

現在、この研究開発は実用化までには感度や長期安定性の実証など、さらに多くの課題が残されており、産総研での第1種基礎研究と製品化研究の間を行ったり来たりしている状況です。なかなか死の谷から抜け出すことができていません。しかし、これまでさまざまな人たちの協力によって、1つ1つ問題を解決し、1歩1歩前に進んできています。今後も、産総研内外の研究者とのネットワークの強化を図り、薄膜と計測技術との融合分野において実績をつくり上げていきたいと考えております。今後も皆さまのご協力を、よろしくお願いいたします。

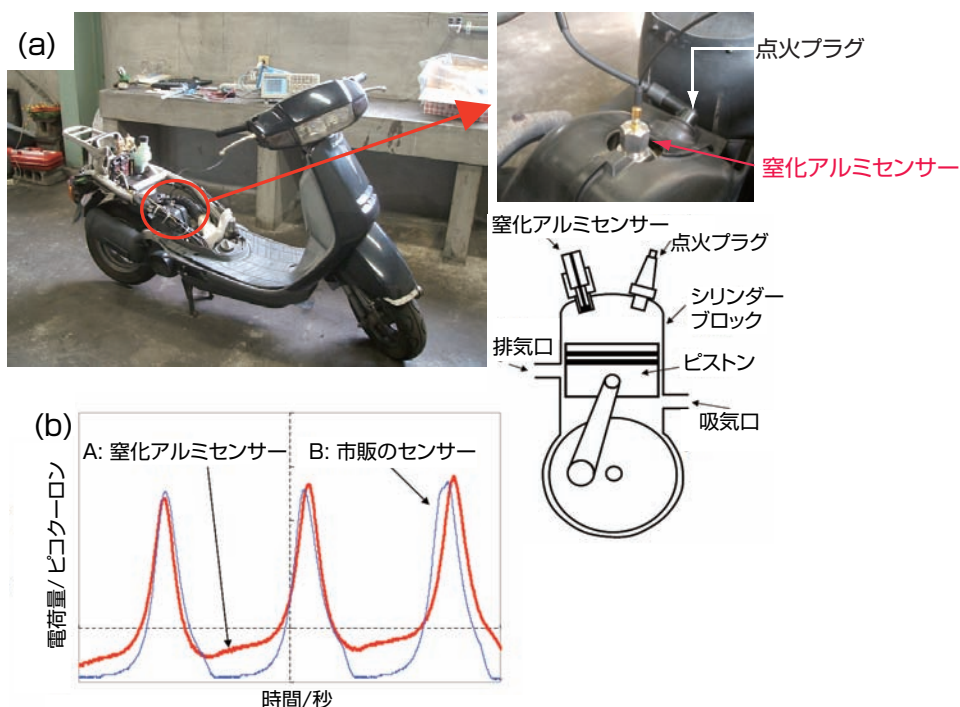


図2 エンジンによる燃焼圧測定状況と測定結果