

セラミックターボチャージャー

(1985年～現在)

1980年代は新素材への期待が異常に強まった時代であり、そのなかでセラミックエンジンに代表されるセラミックフィーバー現象が起こった。これを追い風にさまざまな自動車エンジン用のセラミック部品が開発された。中でもセラミックターボチャージャーは印象的な製品であったように思う。これはターボチャージャーの応答性改善にとどまらず、脆性材料が動的な構造部品として商業化され、その信頼性が市場で実証されたことに意義がある。

1. 適用分野

自動車用エンジン

2. 適用分野の背景

往復駆動型のエンジンを過給して、燃焼室内に送り込む混合ガスの圧力を高めると、小型で高出力のエンジンとなる。この過給方式には、エンジンの回転力を直接利用するスーパーチャージャーと排気ガスの流れを利用するターボチャージャーの2つの方式がある。このうち、ターボチャージャーは機構が単純で小型であることが利点である。

ターボチャージャーの開発はアルフレッド・J・ピュヒが1905年に得た特許に始まる。その後、1938年にボーイングのB17爆撃機に装着され、1960年代中頃になるとトラック用のディーゼルエンジンへの装着が普及した。1970年代には自動車レースでターボチャージャー付の車が次々と優勝するようになり、市販のガソリン車への搭載も進められた。

ターボチャージャーは小型のエンジンから大きな出力をとりだす特徴があるが、アクセルを踏み込んでからエンジン回転数の上昇までにターボラグと呼ばれる僅かな遅れの生ずることが難点であった。セラミックス化の狙いは、ロータの軽量化によってターボラグを解消することにあった。

3. セラミックスの特徴

ターボチャージャーは2つの羽根車を軸で結合した構造となっている。片方の羽根車(タービンホイール)を排気で回転させ、もう一方の羽根車(圧縮機インペラ)を使ってエンジンに送り込む空気の圧力を高める(図1)。

日産自動車では1979年に国内初のターボチャージャー付の量産車の販売を始めたが、このタービンロータにはNi基耐熱合金(GMR235)を用いていた。その後、セラミックス化の検討を進め、1985年に窒化ケイ素セラミックスを用いた世界初のセラミック

ターボチャージャーを商品化した(図2)。なお、インペラはアルミニウム製が一般的であるが、軽量のCFRPを用いることもある。

排ガスの温度に耐える耐熱性も重要であったが、セラミックスが軽量であることが応用にあたって最も重視された点である。軽量で耐熱性に優れた材料としてセラミックス以外にチタン系の金属間化合物(TiAl合金)も候補となった。

セラミックスは脆性材料であるため、運転中に破損するとエンジンオイルが漏れて引火の恐れが危惧される。これは金属軸の先の高温部にセラミックロータを接合して、万が一の破損があってもオイルの漏れを金属軸で防止する構造とすることで対処した。また、セラミックスの破損に対しては、製造過程での綿密な欠陥検査を行い、さらに最終製品については全数過回転試験を行って低強度品を破壊除去する保証試験によ

Key-words : 窒化ケイ素, エンジン, 自動車, セラミックホイール, 過給機

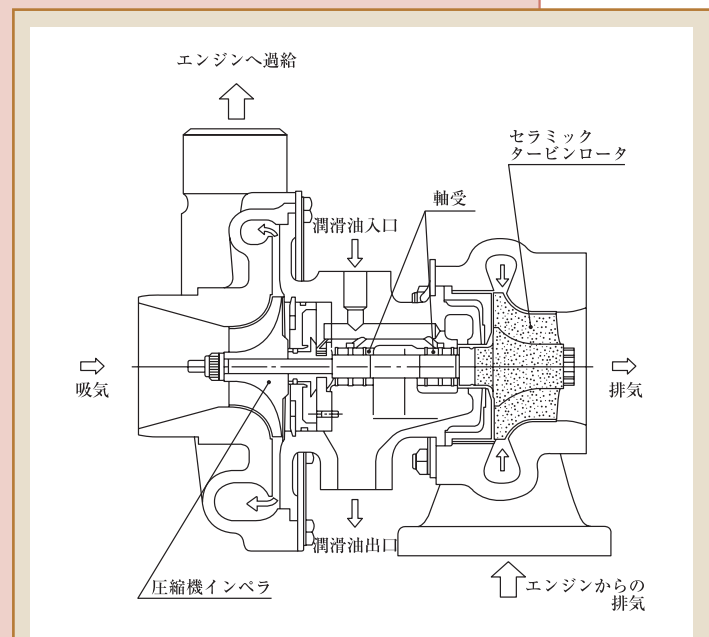


図1 ターボチャージャーの動作機構

エンジンからの排気はタービンに導かれ、インペラで圧縮した空気をエンジンに送り込んで過給する。

て対応した。このようにセラミックターボの開発には、高温接合技術、複雑形状のロータ成形技術、破壊力学による信頼性保証技術など多くの技術開発の総合的な成果のうえに成り立つものであった。

注1 窒化ケイ素は難焼結性の物質であるから、焼結を促進する添加物を配合して焼結される。この添加物は焼結体に残って、窒化ケイ素本来の性質を損なうため、焼結し易さと材料特性の双方を勘案して、一般に希土類などの酸化物が選定される。

注2 非粘土系のセラミックスは可塑性に乏しいので、有機物を添加して成形性を補う。この有機物は加熱して除去するが、蒸発や熱分解の起こる300～500℃の温度域まで加熱したときに、成形体の強度が低下して、割れや変形の起こることがある。そのため成形助剤の選定は製造メーカーのノウハウとなっている。

4. セラミックロータの製法

セラミックロータの製法例を図3に示す。セラミックロータは金属軸にセラミックホイールを接合し、反対側の軸にアルミニウムインペラをねじ止めするのが一般的である。

セラミックホイールは射出成形または鋳込み成形で製造する。基本的には窒化ケイ素粉末を希土類酸化物などの焼結助剤^{注1)}成分と混合し、これに成形助剤^{注2)}を配合したものをホイールに成形する。射出成形における脱脂、鋳込み成形工程での乾燥は割れやひずみを生じやすく、この工程とそれに先立つ成形工程には各社固有の多くのノウハウがある。

その後、焼結、機械加工、金属軸との接合を経てロー

タが完成する。機械加工は主に接合のために軸の寸法精度を出すために行われるが、回転のバランスを保つように羽根の一部を削り取ることも行われる。

5. 製品性能

図4に、セラミックターボチャージャーの加速特性を金属ロータと比較して示す。セラミックロータは金属を用いた従来型と寸法は同じであるが、従来の耐熱合金の密度が約8.2Mg/m³であるのに対し、窒化ケイ素セラミックスでは約3.2Mg/m³に過ぎず、この軽量化によって約36%の加速性能の改善が見られた。しかし、現在の新型車ではこのセラミックターボチャージャーは採用されていない。現在は交換部品の少量生産に留まっているが、加速性能を重視した時代から、環境や安全性重視への変化が関係しているようである。

文献

- 1) 荒井久治, “自動車の発達史(上)”, 山海堂(1995).
- 2) 郷古美, “ターボチャージャー”, 山海堂(2000).
- 3) “セラミック部品のエンジンへの応用”, 内田老鶴園(1990).
- 4) 上垣外修己, “セラミックスエンジン”, 丸善(1987).
- 5) 伊藤高根, “セラミックターボチャージャー”, 冬樹社(1990).
- 6) http://www.soc.nii.ac.jp/gtsj/2000/g_103.html

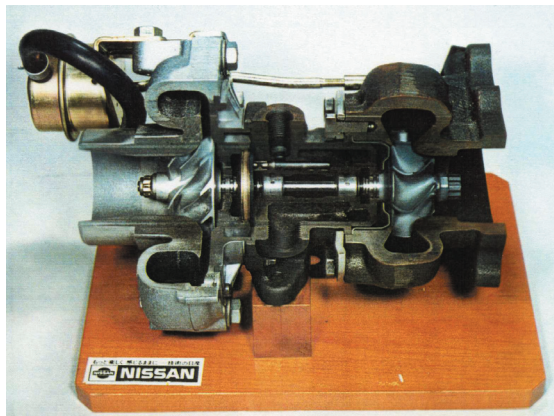


図2 ハウジングに組み込まれたセラミックターボチャージャー

右側のセラミックホイールは金属軸に接合され、左側のアルミニウムインペラにはネジを設けた金属軸を差し込んで先端部をナットで固定している。

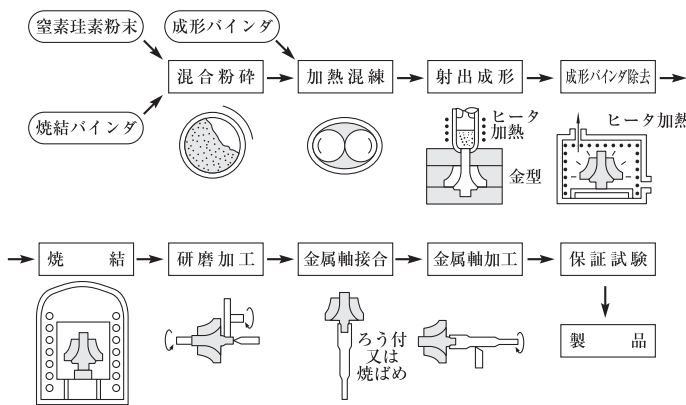


図3 セラミックロータの製法例

樹脂を成形助剤に用いた射出成形によってホイールを製造し、金属軸と接合する。

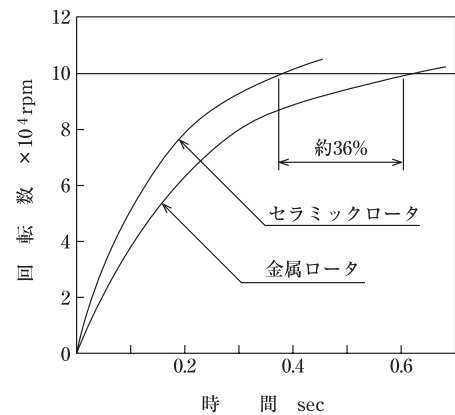


図4 金属ロータと比較したセラミックロータの加速特性
セラミックスを用いるとロータ回転数の上昇速度が高まる。