

NACHI  
**TECHNICAL**  
**REPORT**  
Materials

Vol. **30** B5  
January/2016

マテリアル事業

■ 新商品・適用事例紹介

自動車部品向け耐熱合金  
「EXEO-E900」

Heat resistant alloy "EXEO-E900"  
for motor parts

〈キーワード〉 耐熱材料・ニッケル系合金・析出強化型  
耐酸化性・疲労強度・クリープ強度

マテリアル事業部／技術部

小澤 茂太 Shigeta Kozawa

マテリアル事業部／マテリアル企画部

島田 宜治 Yoshiharu Shimada

## 要 旨

NACHIは、高速度工具鋼をはじめ、低熱膨張・耐熱・耐食・強度などの特性を高めた機能部品材料として「EXEOシリーズ」を商品化している。

今回、耐熱材料として析出強化型ニッケル基合金「EXEO-E900」を開発したので紹介する。「EXEO-E900」は、耐熱材料に必要とされる高温強度、耐酸化性、疲労強度やクリープ強度などの高温特性に優れた材料である。「EXEO-E900」は、900℃に達する高温環境となる、自動車の排気バルブやターボ部品など、高温環境下で使用される部位への適用を想定している。

## Abstract

Starting with steel for high-speed cutting tool, NACHI has developed and marketed “EXEO Series” materials for functional parts. The materials have high characteristics of low heat expansion, heat-resistance, corrosion resistance and high strength.

Introducing here is a newly-developed, heat-resistant material, “EXEO-E900” that is made of precipitation strengthened type nickel base alloy. “EXEO-E900” has superb characteristics of high-temperature strength, oxidation-resistance, fatigue strength and creep strength that are required for heat-resistant material. Its application is expected for the parts exposed to the high-temperature environment such as an exhaust valve of an automobile and turbo parts that are used under the high-temperature environment of 900℃.

## 1. 自動車を取り巻く環境

図1に、地球の平均気温の推移を示す。地球の平均気温は年々上昇しており、地球温暖化が問題となっている。地球温暖化は、温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>が一因といわれ、CO<sub>2</sub>排出量の削減が非常に重要となっている。図2に、CO<sub>2</sub>排出量の業種別割合を示す。世界のCO<sub>2</sub>排出量の18%を自動車が占めており、自動車が排出するCO<sub>2</sub>削減が急がれている。そのため、各国はCO<sub>2</sub>排出量規制を将来にわたり、段階的に厳しく設定している。一例として、日本の自動車CO<sub>2</sub>排出量規制の推移を図3に示す。

この規制をクリアするため、自動車メーカー各社は、次世代自動車である電気自動車や燃料電池自動車の開発と販売、クリーンディーゼル自動車の採用、ならびに既存ガソリン自動車の燃費を改善するなどの対策を行なっている。電気自動車や燃料電池自動車は、航続距離やインフラ、コストの問題があり、この先数年は図4のようにパワートレインとしてガソリンエンジンが主流と見られている。

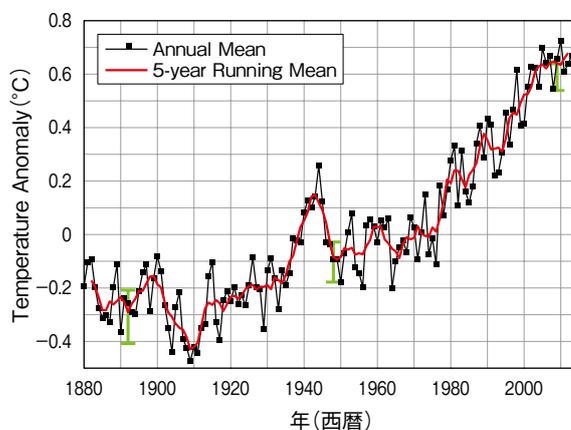


図1 地球の平均気温の推移<sup>1)</sup>



CO<sub>2</sub>削減のため、ガソリンエンジンには、燃費を向上させる技術が数多く投入されている。その一つとして、小排気量エンジンにターボチャージャーを搭載したダウンサイジングターボエンジンが挙げられ、実際に採用が増加している。図5に、ダウンサイジングターボエンジンと従来型エンジンにおける発生トルクと回転数の関係を示す。ダウンサイジングターボエンジンでは、従来型エンジンよりもエンジン回転数がより低回転の状態から、発生トルクが立ち上がるとともに、発生トルクの一定化を実現している。これは、<sup>※1</sup>ウェイトゲート機構を従来の機械式から電子制御式にすることで、バルブの開閉を緻密にコントロールすることにより実現している。発生トルクが立ち上がった後は、一定に保つため、ウェイトゲートバルブは、これまで以上、高精度に開度をコントロールする必要がある。そのため、高温の排気ガスにさらされるバルブやバルブを開閉させるレバーなどの構成部品で高温強度を高めた材料が要求される。

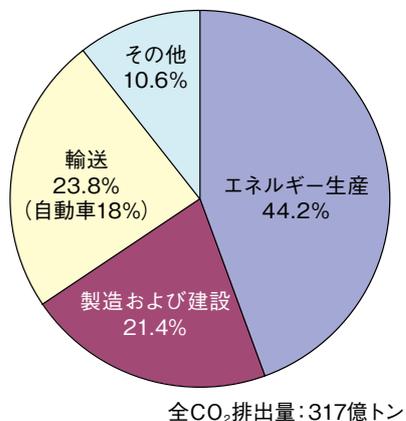


図2 CO<sub>2</sub>排出量の業種別割合<sup>2)</sup>

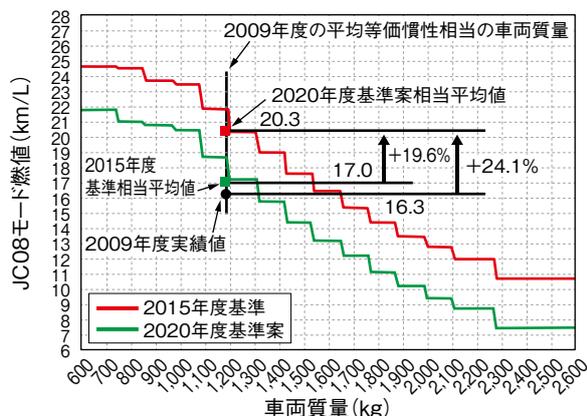
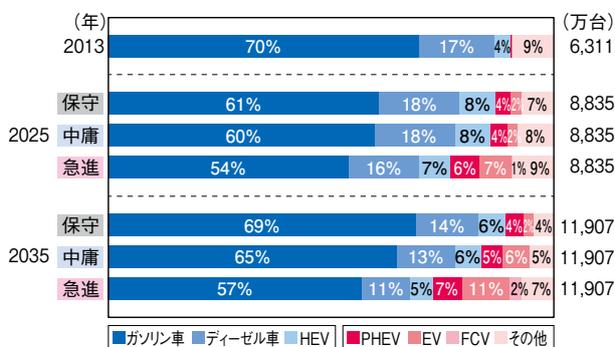


図3 日本における燃費規制(2020年基準案)<sup>3)</sup>



保守: 最も変化が小さいシナリオ  
 中庸: 最も蓋然性の高いシナリオ  
 急進: 最も変化の大きいシナリオ

13カ国(日本、アメリカ、ドイツ、フランス、イギリス、中国、ロシア、ブラジル、インド、インドネシア、タイ、マレーシア、オーストラリア)合計のパワートレイン構成予測

図4 将来の自動車パワートレイン構成予測<sup>4)</sup>

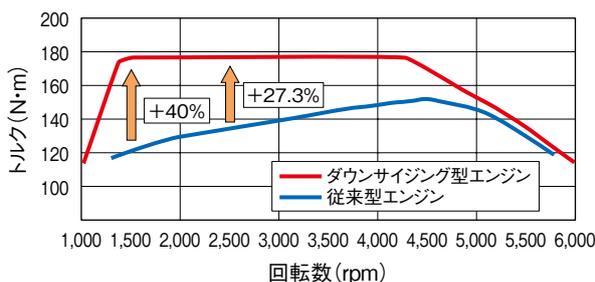


図5 ダウンサイジングターボエンジンと従来型エンジンにおけるトルクと回転数の関係<sup>5)</sup>

## 2. 耐熱材料に必要な特性

ウェイトゲート機構部品であるバルブやレバーなど向けの耐熱材料に求められる特性として、高温強度をはじめ、耐酸化性、疲労強度、クリープ強度などが挙げられる。

### 1) 高温強度

一般的に、金属は温度が上がると強度が低下する。鉄基合金とニッケル基合金では、高温強度に大きな差異があり、高温側では、ニッケル基合金が優位である。図6に鉄基合金とニッケル基合金の引張強度と温度の関係を示す。

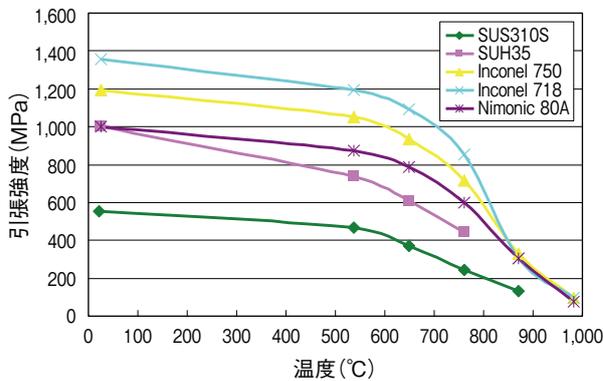


図6 鉄基合金とニッケル基合金の引張強度と温度の関係

### 2) 耐酸化性

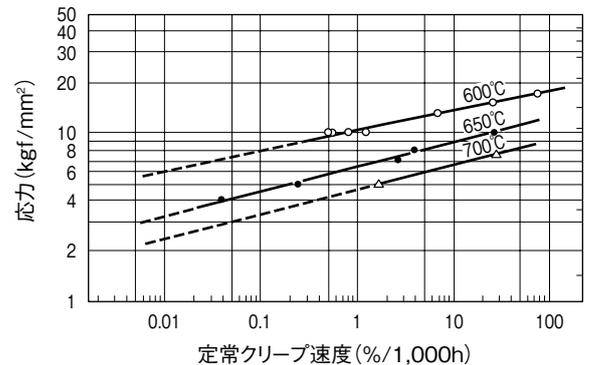
金属は、高温であるほど酸素との反応速度が上がるため、耐酸化性も要求される。一般的に、耐酸化性は、鉄基合金よりもニッケル基合金が優れるが、熱処理条件によって大きく変化することが知られている。

### 3) 疲労強度

自動車には、レバー、ピストンなど、繰返し力を受ける部品が多数存在する。繰返し力が作用する部品では、疲労による破損が懸念される。そのため、疲労強度特性は非常に重要視される。また、使用環境が高温の場合、高温環境における疲労強度特性も重要となる。

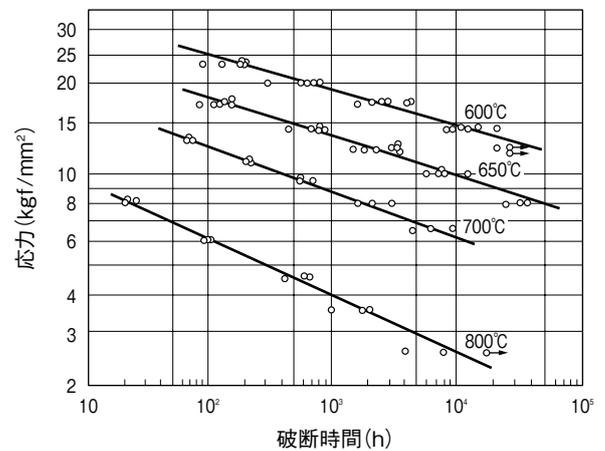
### 4) クリープ特性

金属は、ある温度以上で一定の応力をかけ続けると、時々刻々と変形がすすみ破断する現象が生じる。この現象をクリープと呼ぶ。使用する部材により、定常クリープ速度やクリープ破断時間など必要なデータが異なる。図7に定常クリープ速度、図8にクリープ破断時間の例を示す。



18Cr-8%Ni ステンレス鋼の応力と定常クリープ速度の関係

図7 定常クリープ速度データ例<sup>6)</sup>



18Cr-8%Ni ステンレス鋼の応力とクリープ破断時間との関係

図8 クリープ破断時間データ例<sup>6)</sup>

### 3. 自動車用耐熱材料における「EXEO-E900」位置づけ

自動車用耐熱材料として、SUS310S、SUH31などの鉄基合金やInconel 718、Inconel 751などの熱間塑性加工が可能なニッケル基合金、Inconel 713CやGMR235などの鑄造用ニッケル基合金がある。各材料の高温強度とコストの位置づけを図9に示す。今回開発した「EXEO-E900」は、コストがInconel 718やInconel 751などと同等でありながら、優れた高温強度を有する材料である。

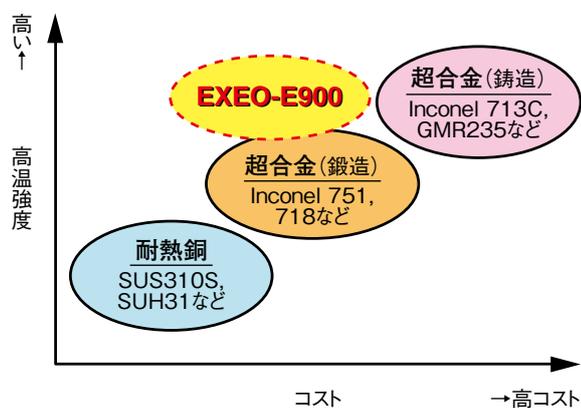


図9 各材料の高温強度とコストの位置づけ

## 4. 「EXEO-E900」の特長

「EXEO-E900」は、析出強化型ニッケル基合金である。析出強化は、時効処理により、結晶粒内に強化相を析出させて強化するものである。時効処理温度よりも、高温の環境でも、強化相の再固溶や粗大化には一定の時間を要するため、排気バルブのようにバルブシートとの金属接触による冷却機構があれば、使用可能である。同様の析出強化型ニッケル基合金であるInconel 751は、800℃以上の高温環境で使用される排気バルブに採用されている。図10に「EXEO-E900」の900℃における暴露試験結果を示す。

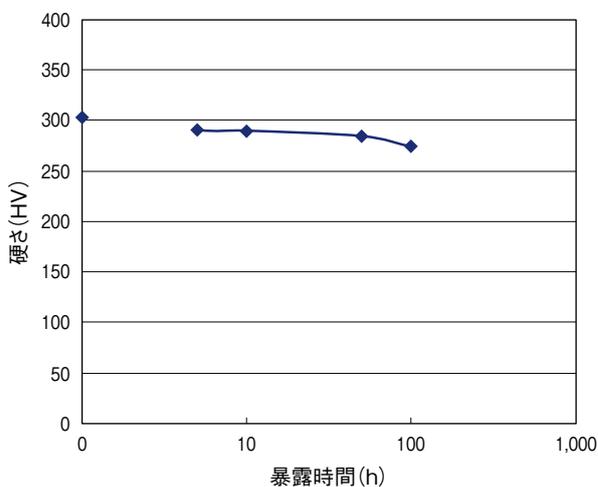


図10 「EXEO-E900」の900℃における高温暴露試験結果

### 1) 高温強度

「EXEO-E900」は、900℃近傍での引張強度は、300MPaを超えており、Inconel 718やInconel X750よりも優れている。図11に「EXEO-E900」と各種耐熱材料の引張強度と温度の関係を示す。

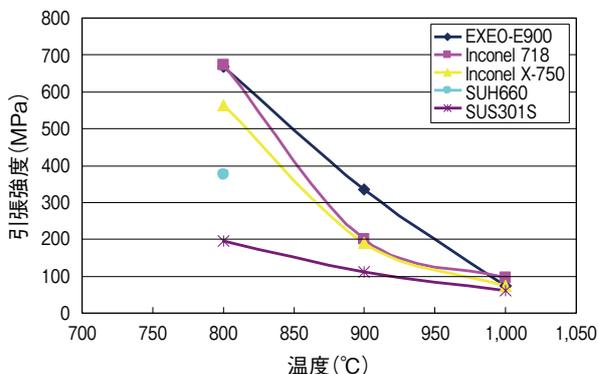


図11 「EXEO-E900」と各種耐熱材における引張強度と温度の関係

### 2) 耐酸化性

「EXEO-E900」は、Inconel 718やInconel X750と比べても遜色のない耐酸化性を有する。図12は、「EXEO-E900」と各種耐熱材料における酸化増量と温度の関係を示す。

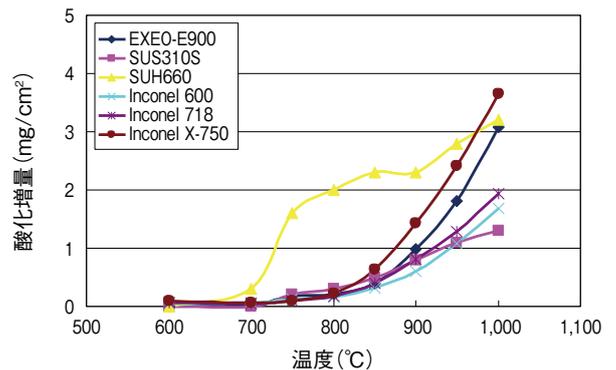


図12 「EXEO-E900」と各種耐熱材料における酸化増量と温度の関係

### 3) 疲労強度

ニッケル基合金は、明確に疲労限度が観察されない材種が多い。そのため、実用上、 $10^7$  cycleの疲労限度を用いている。 $10^7$  cycleにおける「EXEO-E900」と各種耐熱材料における疲労強度と温度の関係を図13に示す。

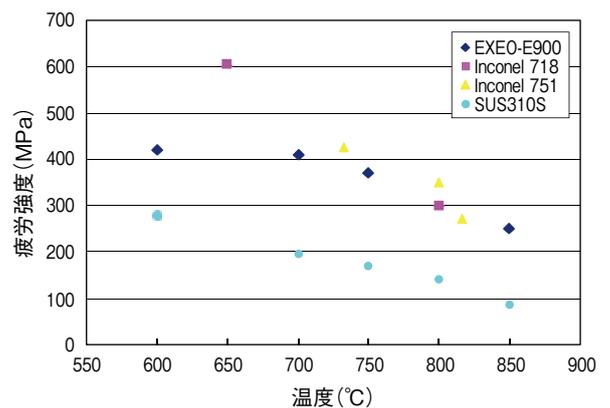


図13 「EXEO-E900」と各種耐熱材料における疲労強度と温度の関係

## 5. 「EXEO-E900」 熱処理条件

### 4) クリープ特性

「EXEO-E900」、Inconel X-750およびInconel 751のクリープ線図を図14に示す。それぞれのクリープ破断時間を表1に示す。「EXEO-E900」のクリープ破断時間は、Inconel X-750の10倍以上、Inconel 751の2倍以上に改善されている。(図14、表1)

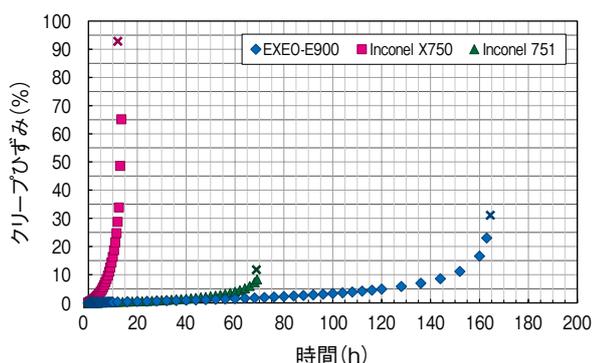


図14 「EXEO-E900」、Inconel X-750およびInconel 751のクリープ線図

表1 「EXEO-E900」、Inconel X-750およびInconel 751のクリープ破断時間

材種	破断時間 (h)	伸び (%)	絞り (%)
Inconel X-750	13.8	93.2	97.2
Inconel 751	69.6	13.1	10.5
EXEO-E900	163.8	32.1	59.4

「EXEO-E900」は、析出強化型ニッケル基合金であり、熱処理品質を管理することが重要となる。しかし、複雑かつ長時間を要する熱処理は、生産性の悪化を招く。そのため、「EXEO-E900」では、750℃×4時間という時効処理条件を推奨している。図15に「EXEO-E900」の熱処理パターンを示す。ただし、ワークの大きさに応じて、ワーク内部まで均熱される時間を考慮して、熱処理時間の設定を行わなければならない。

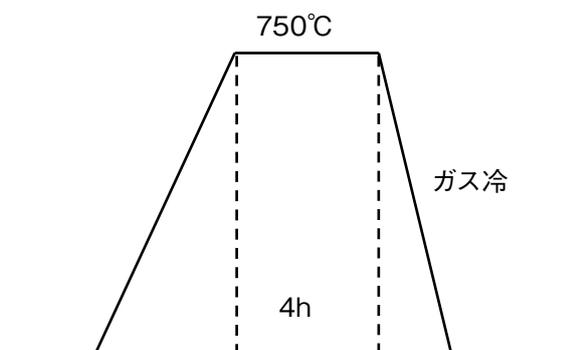


図15 「EXEO-E900」の熱処理パターン

## 6. まとめ

「EXEO-E900」は、900℃近傍でも優れた高温強度を有することから、エンジン排気系のような高温環境下で使用される自動車部材に適した材料となっている。排気バルブやウェイトゲートバルブ他構成部品などの部位に推奨提案を行なっている。図16に「EXEO-E900」の提案部材例を示す。

今後も、さらなる技術開発をすすめ、産業発展に貢献する材料開発にとり組んでいく。



ウェイトゲートバルブ



排気バルブ

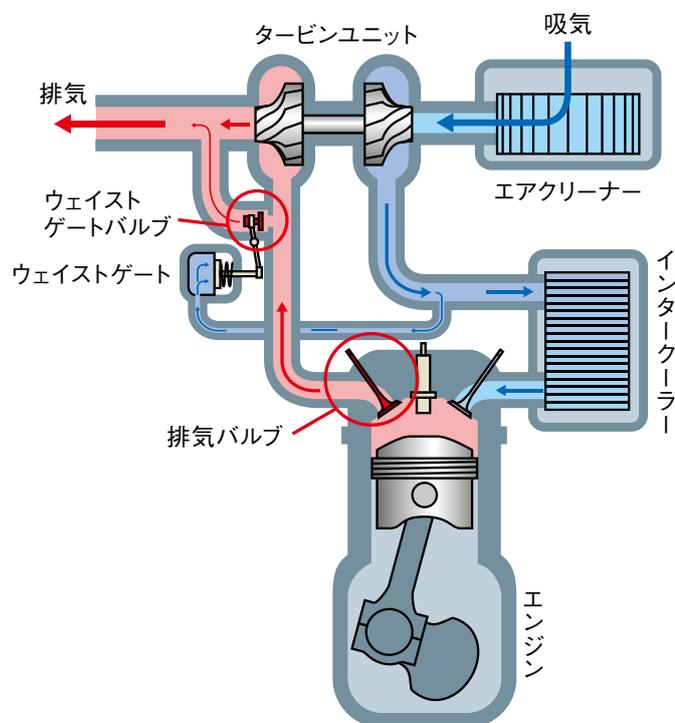


図16 「EXEO-E900」の提案部材例

### 用語解説

#### ※1 ウェイトゲート機構

ターボチャージャーによる過給エンジンでは、過給圧が設計値を超えるとエンジンブローやタービンブローに陥る。ウェイトゲート機構は、ターボチャージャーによる過給圧を制御するため、エンジン排気側とタービンの間に設置されたバルブを開閉することで、排気ガスの流入量を調整する機構。

#### ※2 Inconel

InconelはSpecial Metals Corporationの登録商標です。

### 引用文献

- 1) Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo, 2010: Global surface temperature change. Rev. Geophys., 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
- 2) IEA CO2 EMISSION FROM COMBUSTION(2012)
- 3) 日経Automotive Technology 2013年1月 p.63
- 4) 日経Automotive Technology 2015年4月 p.66
- 5) 自研センターニュース(2012年12月 第447号)
- 6) 耐熱合金のおはなし 田中良平著 p.31,33より