

# 世界最高の耐用温度 1100 を有する超合金の開発に成功

平成15年3月27日

独立行政法人物質・材料研究機構

## 【概要】

独立行政法人物質・材料研究機構（以下NIMS、理事長：岸 輝雄）の材料研究所超耐熱材料グループ原田広史ディレクターらは、石川島播磨重工業株式会社との共同研究により、ジェットエンジンや発電用ガスタービン用合金として、世界最高の耐用温度<sup>1)</sup>1100のニッケル（Ni）基単結晶超合金<sup>2)</sup>（TMS-162合金）を開発した。今までの最高耐用温度は、NIMSが開発したTMS-138合金の1083、実用化されている合金ではCMSX-10合金の1062である。

本研究成果は、金属材料技術研究所時代の1999年度から5カ年計画で実施している「新世紀耐熱材料プロジェクト」<sup>3)</sup>により得られたものである。開発された合金は、燃焼温度1700の発電ガスタービン開発や、純国産ジェットエンジン開発を可能にするキーテクノロジーとなるものである。

この成果は、3月27日から千葉大学にて開催される日本金属学会春期講演大会において発表する予定である（発表日は3月28日）。

## 1. 研究の背景と目的

地球温暖化防止の観点から、エネルギー機器関連のCO<sub>2</sub>排出量削減が求められており、それらの高効率化を可能にする新耐熱材料開発への期待が高まっている。

NIMSでは、独立行政法人先導プログラムの一環として、金属材料技術研究所時代の1999年度から5カ年計画により「新世紀耐熱材料プロジェクト」を実施してきた。本プロジェクトでは、CO<sub>2</sub>排出量大幅削減に向けて、1700級のLNG（液化天然ガス）燃焼超高効率複合発電、超高効率コージェネレーション（熱電併給）、次世代ジェットエンジンなどの先進パワーエンジニアリング技術の開発を実現することを目的に、耐熱材料の耐用温度を向上させたNi基超合金、セラミックス、高融点超合金などの開発を、民間企業との協力のもとで行ってきた。

## 2. これまでの研究成果

プロジェクトの開発材料の中で最も早期実用化が期待されるNi基超合金については、これまでに、以下のような成果を上げてきた。

耐用温度1083のNi基単結晶超合金を開発（第4世代（TMS-138）合金の開発）。

第2世代（TMS-82+）及び第3世代（TMS-75）合金について、1300級の15MWの発電ガスタービンによる実機回転試験を実施し、約50日間の日中運転で首都圏に電力を供給。

第2世代および第3世代合金を用いて、世界最大級の大型発電ガスタービン用単結晶動翼（全長30cm、重量10kg）の試作に成功。

第2世代、第3世代及び第4世代の各合金を、国内・海外のガスタービンメーカー及びジェットエンジンメーカーに提供し、実用化に向けた技術移転・共同研究を実施。

### 3．今回の研究成果の内容

合金設計に基づき、第4世代合金をベースに、モリブデン (Mo) の添加量を増量して、合金中の析出物と母相との界面に形成された界面転移網<sup>4)</sup>を25ナノメートル (nm) (従来合金は60nm) まで微細化して強化するとともに、ルテニウム (Ru) を増量して組織を安定化させた。この合金について、10mm 径の単結晶棒を鋳造、熱処理を行ったのちクリープ<sup>5)</sup>試験を行った。タービン翼として使用する場合を想定して試験温度は800～1100、試験応力は137～735MPaとした。1100、137MPaにて1%クリープ変形する時間で比較したところ、図2に示すように、新超合金は、730時間以上耐え、新型ジェットエンジンに実用化されているCMSX-10の約5倍、第4世代合金TMS-138の約2.5倍のクリープ寿命が得られることを明らかにした。

### 4．今後の展望と課題

開発したNi基単結晶超合金TMS-162は、第5世代ともいえるものであり、新世紀耐熱材料プロジェクトの開発材料のうち、Ni基超合金の開発目標を達成した世界最高の耐用温度を有する超合金である。プロジェクトでは、最終年度となる2003年度において、実用化に必要な強度データベースなどの充実を図り、実用化を加速する予定である。

本合金は、燃焼温度1700の発電ガスタービン開発や、純国産ジェットエンジン開発を可能にするキーテクノロジーとなるものであり、実用化されればCO<sub>2</sub>排出量大幅削減に資することが期待される。その実現のための材料実用化プロジェクト(フェイズ2)を計画中である。

(問い合わせ先)

〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1

独立行政法人物質・材料研究機構

広報・支援室 電話：029-859-2026

(研究内容に関する問い合わせ)

独立行政法人物質・材料研究機構 材料研究所

超耐熱材料グループ ディレクター 原田広史

電話：029-859-2503

e-mail：HARADA.Hiroshi@nims.go.jp

## 用語説明

### 1) 耐用温度

137MPa(約 14kg/mm<sup>2</sup>)の応力環境のもとで、クリープに 1000 時間耐えられる温度。

### 2) ニッケル基単結晶超合金

ニッケルをベースに、アルミを添加して Ni<sub>3</sub>Al 型析出物を析出させて強化するとともに、クロム、タングステン、タンタル、レニウムなど種々の高融点金属などを合金化して高温強度と耐酸化性・耐腐食性などを一層向上させた耐熱合金のうち、単結晶化した超合金のこと。高温で破壊の起点となる結晶粒界がないことなどから、実用超合金としては最も高強度である。これまでに実用化されているのは第 3 世代合金までであり、世界各国で次世代合金の開発が行われている。

### 3) 新世紀耐熱材料プロジェクト

独立行政法人化を 2 年後に控えた 1999 年に開始された 5 年計画のプロジェクト。明確な目標設定、プロジェクトリーダーの裁量と責任、企業への技術移転、海外展開、成果の厳格な評価など、独立行政法人化を想定したプロジェクト運営を試行しつつ、世界をリードする新耐熱合金の開発を進めている。ニッケル基超合金のほか、セラミックスや、貴金属をベースにした高融点超合金の開発も進めている。

### 4) 界面転位網

単結晶超合金は、単結晶ではあるがミクロに見ればガンマ相とガンマプライム相という 2 つの領域が存在する。その境界に発生する転位 (= 原子配列の乱れの一種) が互いに絡み合って規則的なネットワークを作って動きにくくなった状態。

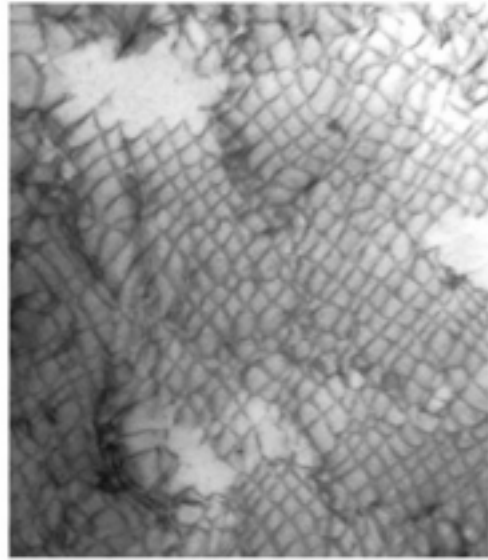
### 5) クリープ

材料を高温に保ち、ある一定の応力をかけた場合、瞬間的には破断しないが、長時間にわたって材料が徐々に変形し最終的には破断に至る現象。ガスタービンやジェットエンジン、ボイラーなど、高温で長時間用いる機器の構造材料部材にとって最も重要な特性。

表1 Ni 基単結晶超合金、TMS-82+ (第2世代)、TMS-75 (第3世代)、TMS-138 (第4世代)の合金組成(重量%)の表。開発合金 TMS-162 は、第4世代をベースに Mo (モリブデン)、Ru (ルテニウム)を増量。

	Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Ta	Hf	Re	Ru	Ni
第2世代 TMS-82+	7.8	4.9	1.9	8.7	5.3	0.5	6.0	0.1	2.5	-	残
第3世代 TMS-75	12.0	3.0	2.0	6.0	6.0	-	6.0	0.1	5.0	-	残
第4世代 TMS-138	6.0	3.0	3.0	6.0	6.0	-	6.0	0.1	5.0	2.0	残
開発合金 TMS-162	第4世代と同等	同左	増	第4世代と同等	同左	同左	同左	同左	同左	増	残

特徴 第2世代：2～3重量%のRe(レニウム)を含有  
 第3世代：5～6重量%のRe(レニウム)を含有  
 第4世代：Ru(ルテニウム)を含有



TMS-162

100nm

図1 開発合金中の析出物（ガンマプライム相）と母相（ガンマ相）との界面に形成された界面転位網の透過型電子顕微鏡写真。網目の間隔を 25nm（従来合金は 60nm）まで微細化して強化した。

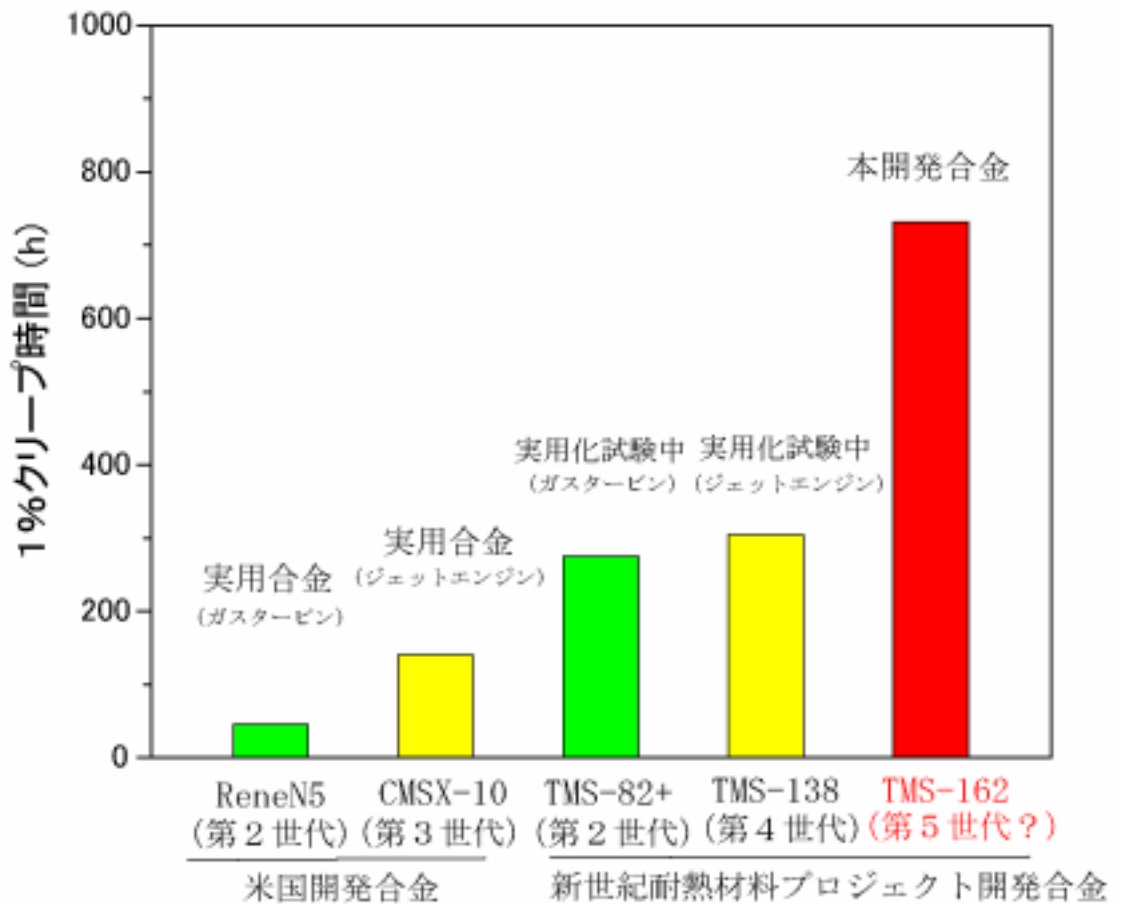


図2 開発合金 TMS-162 のクリープ寿命。1100 、137MPa において1%クリープ変形に至る時間が実用合金 (第3世代: CMSX-10) の約5倍、我々が開発した従来の超合金 (第2世代: TMS-82+、4世代: TMS-138) と比べても約2.5倍と優れている。