炎を制する ー超耐熱構造材料ー

工学研究科材料工学専攻 乾 晴行

燃焼温度を高くすることが環境に優しいことを知っていますか？

国内のCO_2総排出量のうち約30%は発電プラント（うち**約99%**は**火力発電**）

火力発電からのCO_2削減が最も有効！

どうしたら火力発電所からのCO_2排出量を低減できるの？

最新型火力発電プラント(コンバインドサイクル型)

ガスタービンを使って発電した後，その排熱を利用して作った蒸気により蒸気タービンを　転させ，もう一度発電させるシステム

（1）高い熱効率

蒸　気タービン単独～43%,

ガ　スタービン単独～40%

⇒　コンバインドサイクル～50%以上

（2）環境に優しい

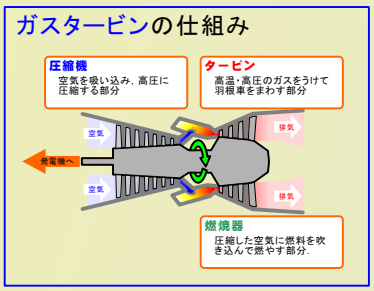
CO_2, NO_x, SO_xの排出量：少

海に流す温排水：少

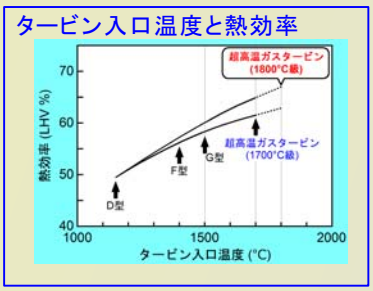
（3）使用燃料量が少なく，省資源

さらなる高効率化にはガスタービンの性能向上が不可欠

ガスタービンの仕組み



タービン入口温度と熱効率



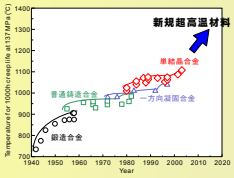
タービン入口温度(ガスの燃焼温度)を上昇させることで最も効果的に熱効率を向上させられる！

⇒　「燃焼温度の上昇は環境に優しい」

ガスタービンの燃焼温度を上げるはどうしたらいいの？

材料の耐用温度を上げることが重要

現行材料(Ni基超合金)の特性



現行材料(Ni基超合金)の融点は1350℃程度

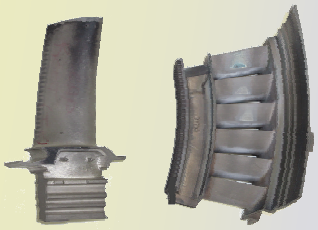
⇒ 飛躍的な耐用温度の向上は困難

⇒ **新しい材料が必要!**

ガスタービン材料に要求される性能

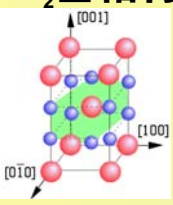
- 融点が高いこと
- 高温で強いこと
- 長時間使えること
- 低温でも壊れないこと
- 腐食により外見や機能が損なわれないこと

⋮



耐熱材料の切り札ー モリブデン・シリサイド（$MoSi_2$）

$MoSi_2$基軸材料



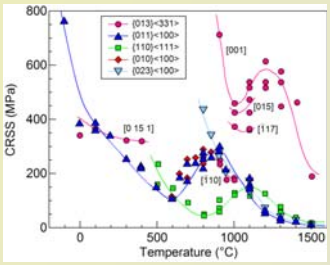
$C11_b$構造

Mo原子とSi原子が規則正しく配列した金属間化合物

特徴

- 優れた塑性変型能　[低温での転位運動]
- 高融点（2020 ℃）　[Ni基超合金 ～ 1350℃]
- 優れた耐酸化性　[自己修復性SiO2被膜形成]
- 軽量（6.24 g/cm^3）　[Ni基超合金 ～ 8g/cm^3]
- 優れた熱・電気伝導性　[放電加工も可能]
- 安価　[戦略元素を含まない]
- 乏しい室温靭性　[単結晶：2～4MPam$^{1/2}$]
- 不十分な高温強度　[方位に強く依存]

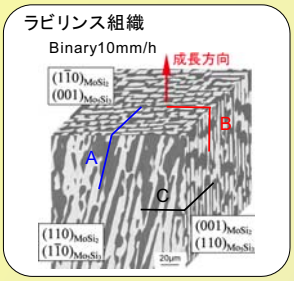
強度の温度依存性 (Inui et al., Phil. Mag.)



優れた特徴を最大限に活用しながら欠点を克服するには？

複相単結晶が有効

二相共晶合金 ($MoSi_2$+Mo_5Si_3)



三相共晶合金

($MoSi_2$+Mo_5Si_3+Mo_5Si_3C)

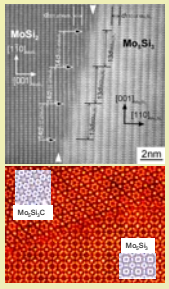
JST戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発事業(ALCA)

$MoSi_2$基Brittle/Brittle複相単結晶超耐熱材料の開発

複相単結晶材料中の界面の原子配列を制御し特性向上を目指す!

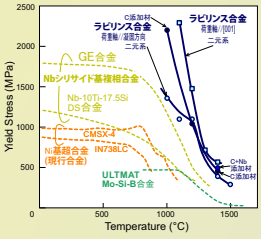
微細構造解析

最新型電子顕微鏡を駆使した界面原子配列構造の解析



優れた力学特性

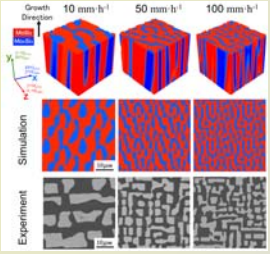
開発合金の強度の温度依存性



現行合金をはるかに凌駕する高温強度特性

計算機シミュレーション

ラビリンス合金凝固過程のシミュレーション

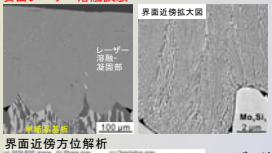


凝固速度の上昇に伴う組織微細化の再現に成功

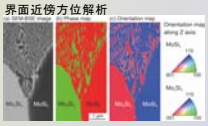
部材化プロセス開発

金属積層造形法の適用に向けた基礎研究

表面レーザー溶融試験



界面近傍方位解析



レーザー溶融により劇的な組織微細化(～75nm)

基板の結晶方位の維持
⇒単結晶部材化可能