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

温室効果ガス(CO_2)の総排出量はどうしたら大幅に削減できるの？

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回転させ，もう一度発電させるシステム

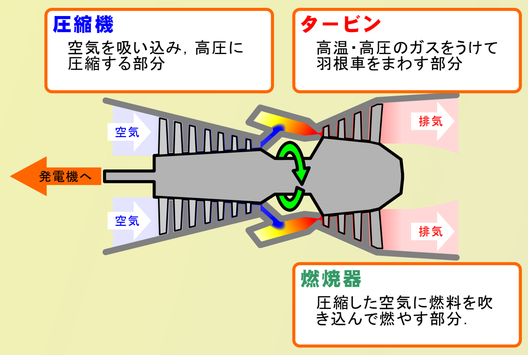
(1) 高い熱効率
　蒸気タービン単独～43%,
　ガスタービン単独～40%
　⇒コンバインドサイクル～50%以上

(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

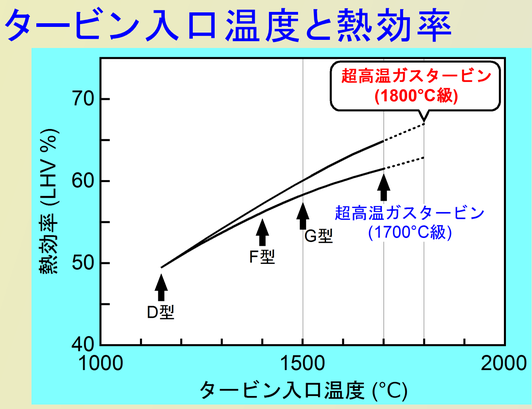
(3) 使用燃料量が少なく，省資源

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



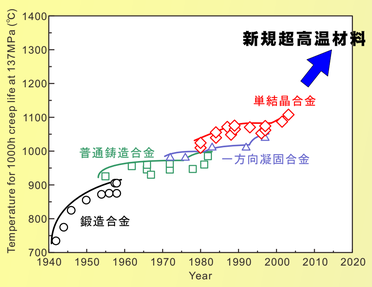
タービン入口温度(ガスの燃焼温度)を上昇させることで最も効果的に熱効率を向上させられる！

⇒ **「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！**

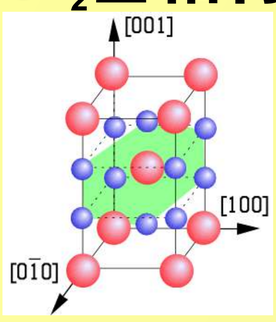
ガスタービン材料に要求される性能

- 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



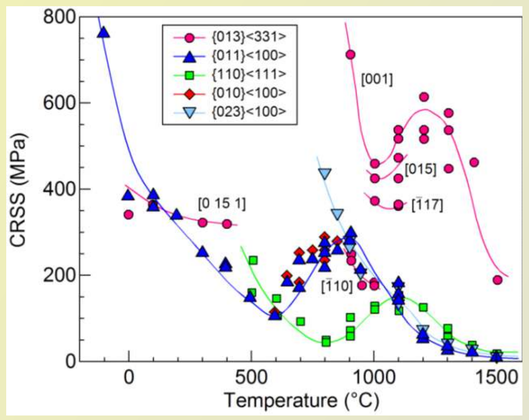
$C11_b$構造

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.)

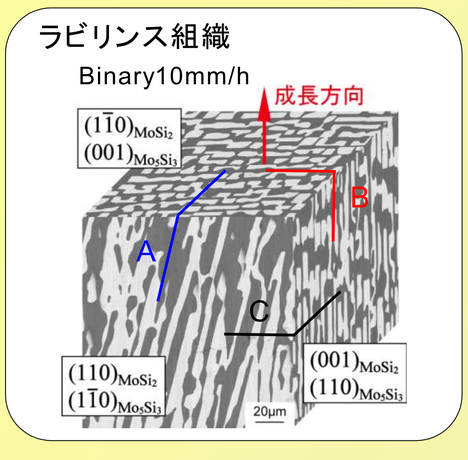


優れた特徴を最大限に活用しながら欠点を克服するには？

⬇

複相単結晶が有効

ラビリンス合金
($MoSi_2$+Mo_5Si_3)



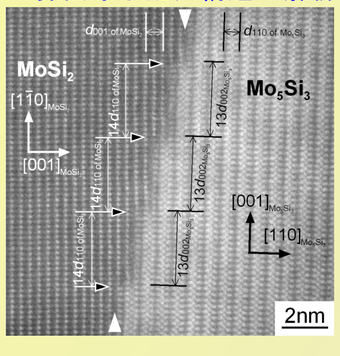
JST戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発事業(ALCA)

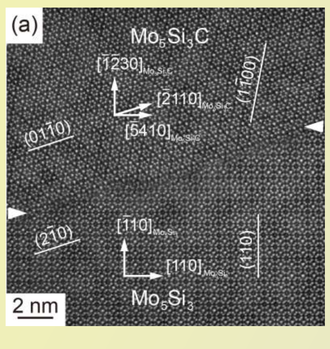
$MoSi_2$基Brittle/Brittle複相単結晶超耐熱材料の開発

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(原子～ミクロスケール)

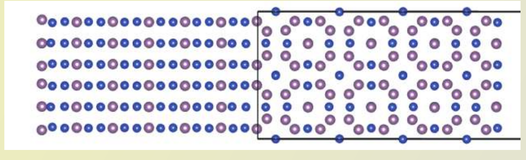
世界最高レベルの最新型電子顕微鏡を駆使した界面原子配列構造の解析





第一原理計算(原子スケール)

最安定界面構造，界面偏析の理論的予測に成功



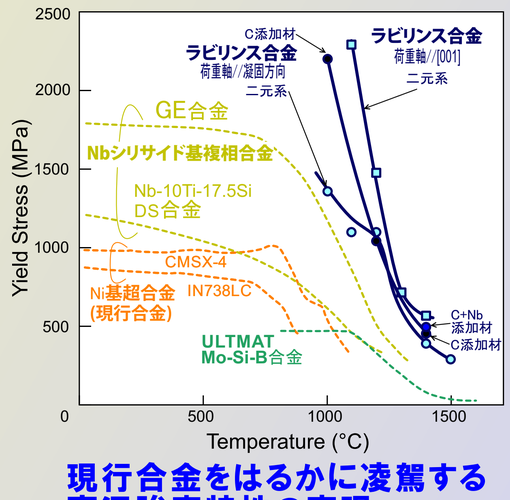
フェーズフィールド計算
(ナノ～ミクロスケール)

Ledge-terrace構造を考慮に入れた新しい計算モデルを構築

ラビリンス組織安定構造の再現に成功

界面構造安定性に対する添加元素の影響を評価

力学特性評価(ミクロ～バルクスケール)



現行合金をはるかに凌駕する高温強度特性の実現