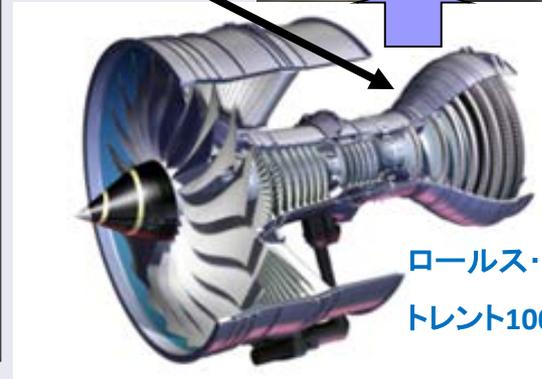
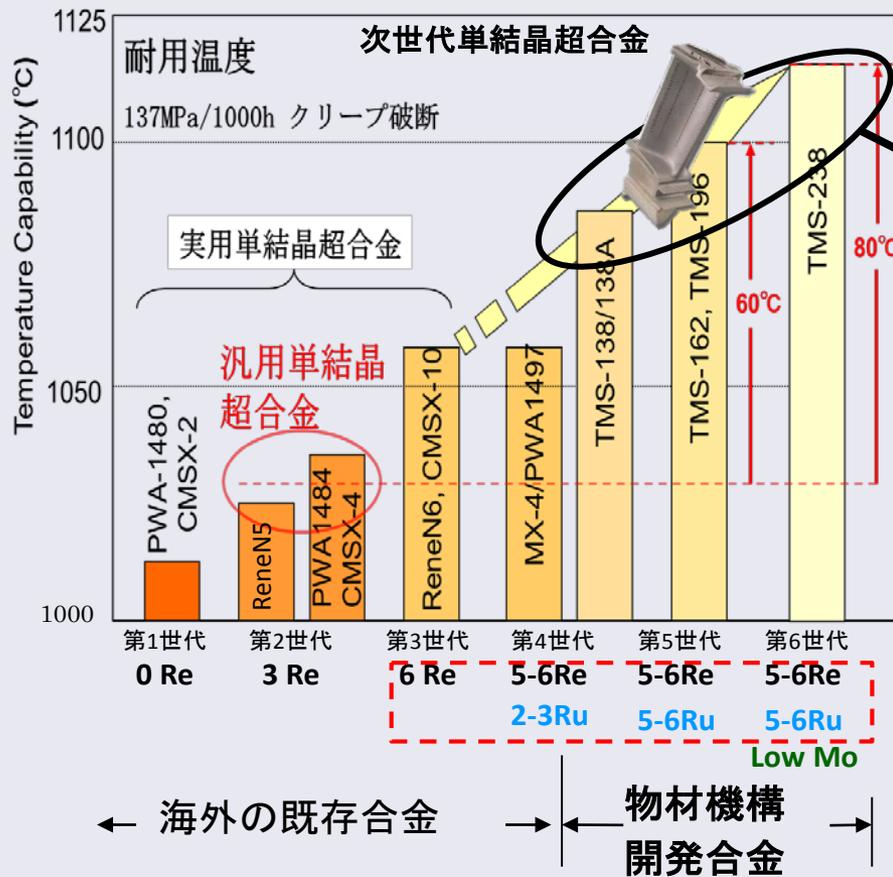


超耐熱合金の直接完全リサイクル

国立研究開発法人 物質・材料研究機構
構造材料研究拠点超合金グループ
川岸 京子

物材機構による先進Ni基単結晶超合金の開発

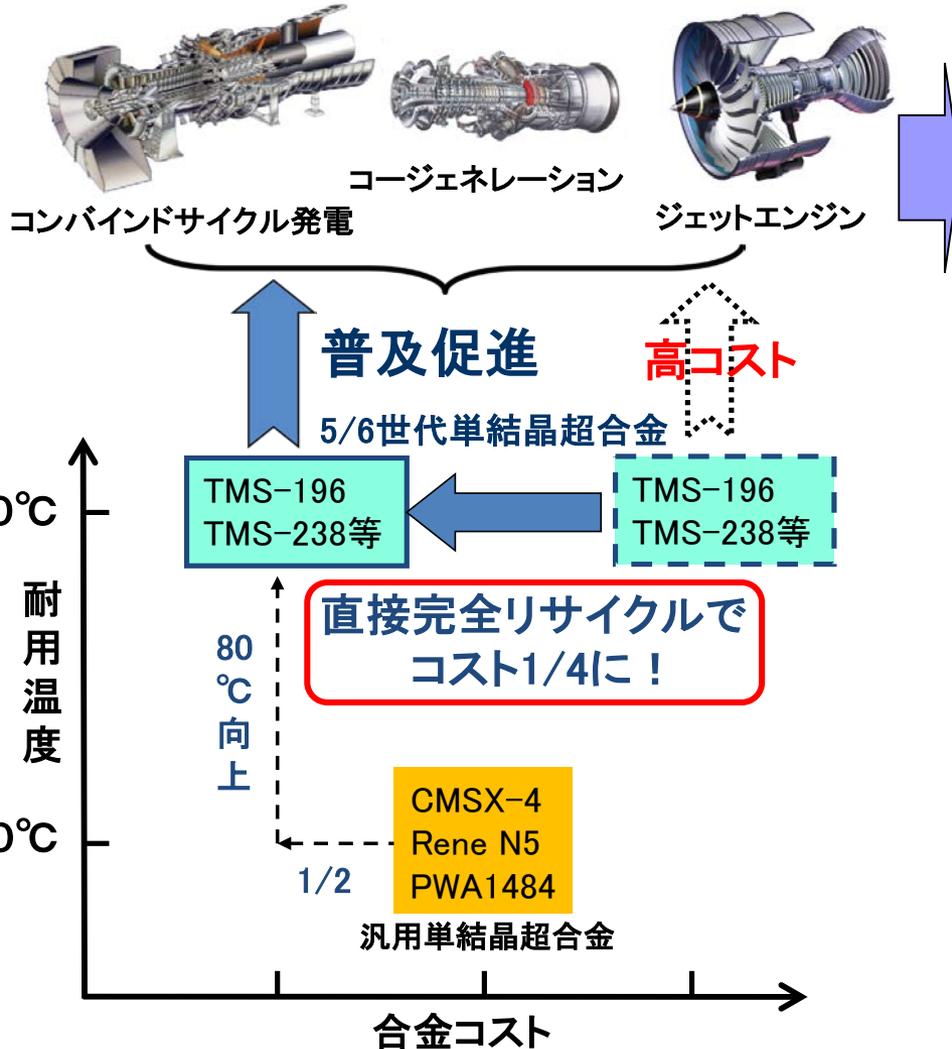
物材機構にて次世代(第4~6世代)単結晶超合金開発
 新型ジェット機の燃費改善、CO₂排出削減に貢献中



ロールス・ロイス製
 トレント1000

ボーイング787用ジェットエンジンのタービン翼材として、全日空、英国航空など、140機以上に使用中。

Ni基単結晶超合金実用化拡大によるCO₂削減効果



10年後のCO₂排出削減に大きな効果

コンバインド サイクル発電	世界 排出量	ジェット エンジン
40億トン (予測)		12億トン (予測)
× 8%		
3.2億トン		1億トン
合計4.2億トンの 削減ポテンシャル		

直接完全リサイクル技術によるコスト削減

直接完全リサイクル

低コスト

インゴット溶製
合金組成制御
不純物量制御(硫黄(S))

本提案技術

新規ブレード



酸化物 硫化物

コーティング材の拡散混入
不純物元素の付着

廃棄ブレード



高コスト

安定供給には
寄与するが
コスト低減に
至らない

インゴット
溶製

成分調整

原材料

コスト

新規
原材料

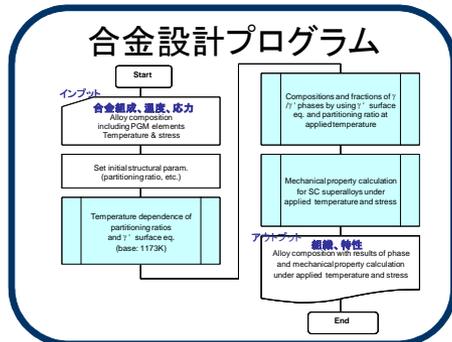
製錬 元素抽出

Ni	Co
Ta	W
Re	Ru

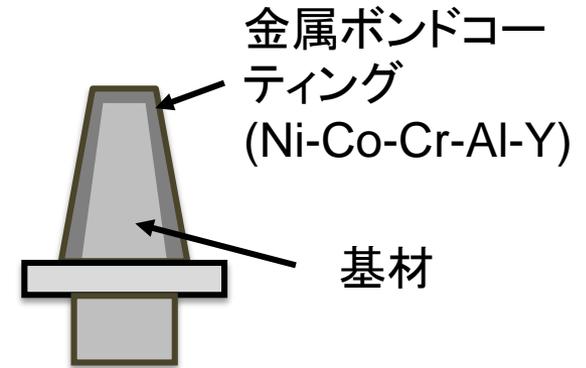
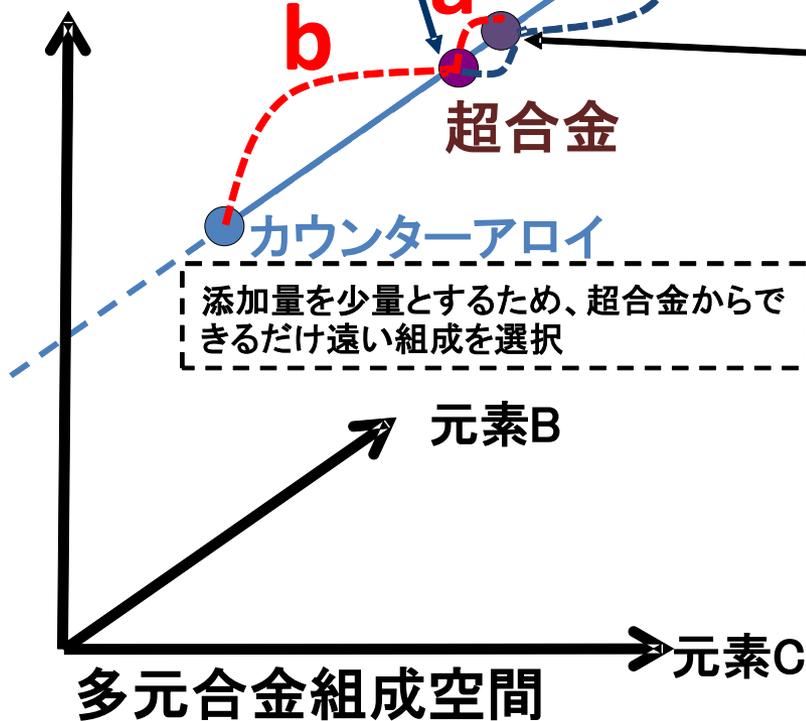
従来技術

主要元素の制御

カウンターアロイイング(成分調整)法の開発



許容組成範囲設定
元素A



元の超合金組成に戻すには

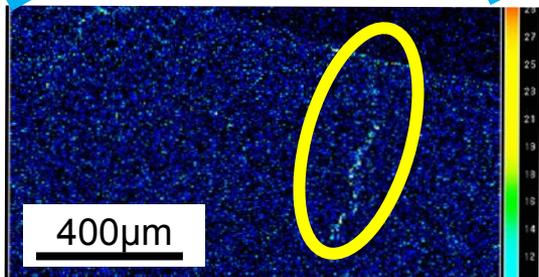
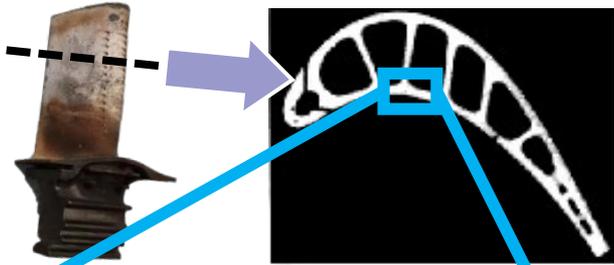
超合金 + ボンドコート: **b量**

に対して

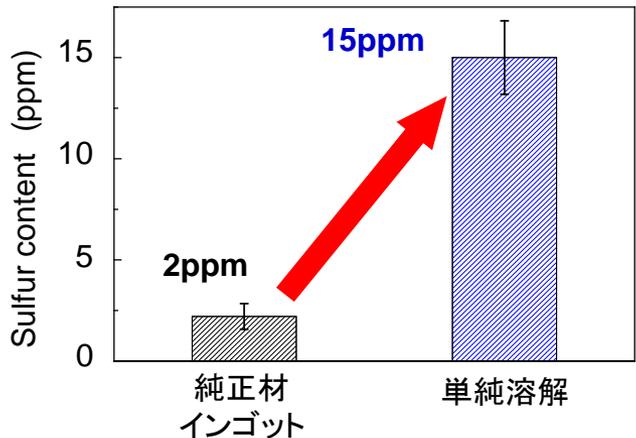
カウンターアロイ: **a量**を添加

不純物元素制御(特に硫黄)

PWA1484廃棄翼



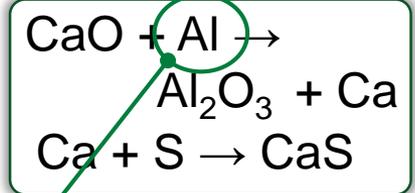
冷却孔内部
亀裂に硫黄



CaOるつぼの 脱硫メカニズム

CaOるつぼ

優れた脱硫機能

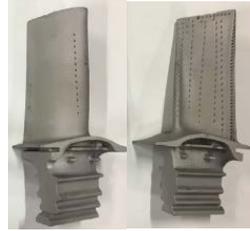
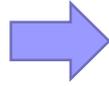


- ✓ 移動速度論
- ✓ 平衡

脱硫反応時、合金中のAlを消費
2kg溶解で単結晶材、一方向凝固材中のAl量が約0.1wt.%程度減少する。

実験方法

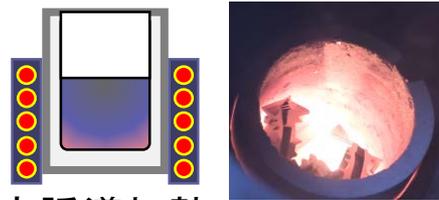
材料: PWA1484廃棄翼



50 mm

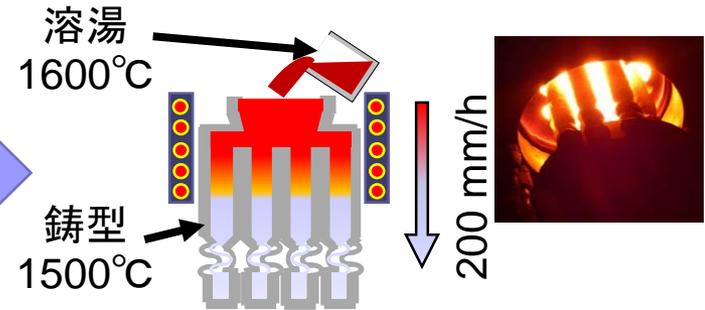
サンドブラストでセラミックスコーティングを剥離

1. 溶解

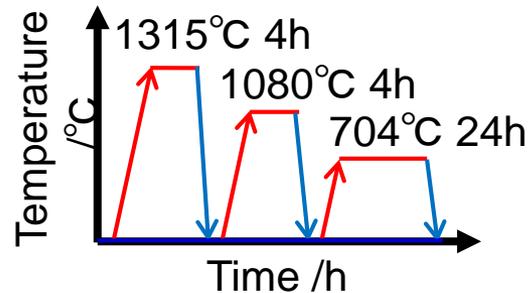


真空誘導加熱
真空度: 6×10^{-2} Pa
溶解量: 2.2 kg

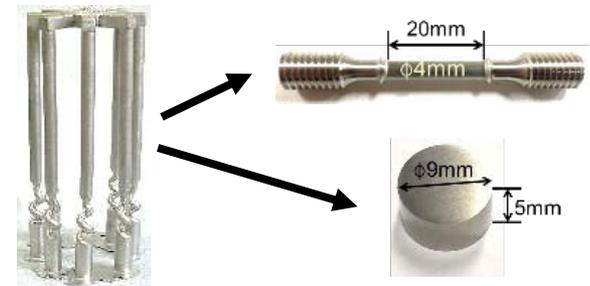
2. 鑄造



3. 熱処理



4. 単結晶丸棒試験片



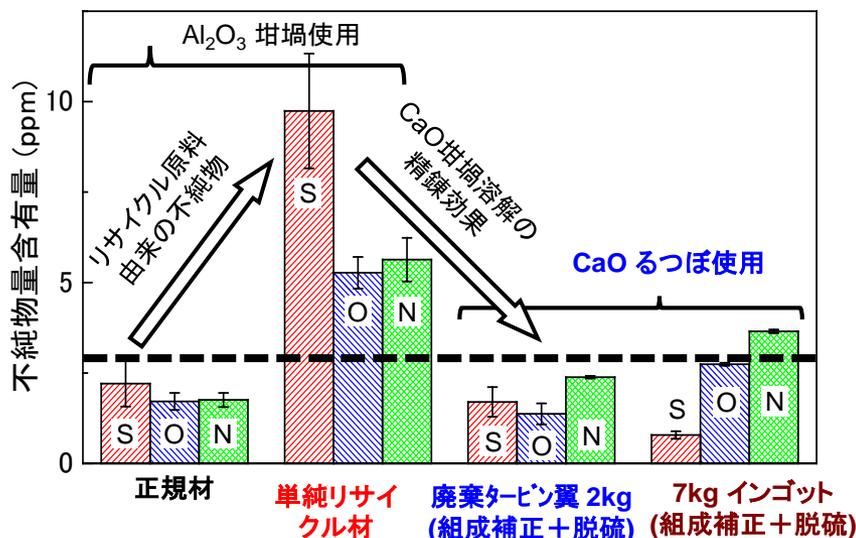
一方向凝固炉

合金元素組成 (wt%)

ICP-OESによる分析結果

	Co	Cr	Mo	W	Al	Ta	Hf	Re	Ni
純正材	9.58	4.91	1.88	5.93	5.65	8.72	0.09	3.05	Bal.
単純リサイクル	9.85↑	5.07↑	1.88	5.81↓	5.58↓	8.43↓	0.10	2.96↓	Bal.
CA	9.85↑	4.92	1.91	5.96	5.45↓	8.56↓	0.11	3.02	Bal.
CA+CaO	9.64	4.41↓	1.93	6.21↑	5.42↓	8.88↑	0.09	3.16↑	Bal.

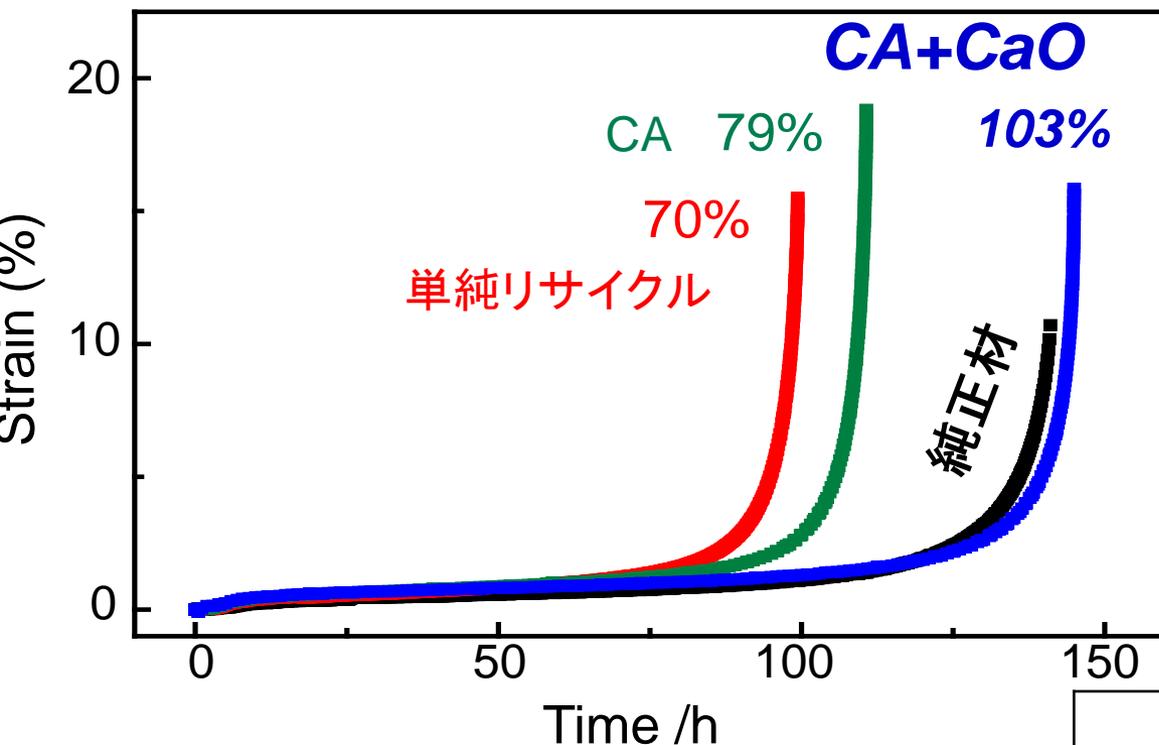
CaOるつぼ溶解の精錬効果



S. Utada et al., Superalloys 2016

- カウンターアロイ法によって、合金組成はほぼ純正材と同等に調整できた。
- Al濃度はやや低い。これは再溶解中の蒸発と化学反応によるものと考えられる。
- インゴットメーカーによる製造現場では、炉前分析による正確な組成調整が可能である。
- CaOるつぼによって7kgインゴットレベルまでの脱硫効果が確認できた。

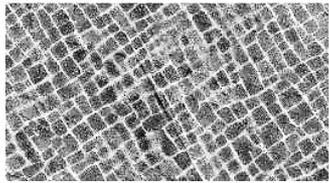
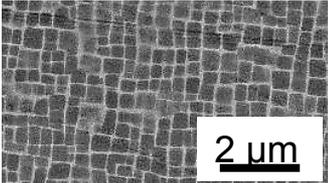
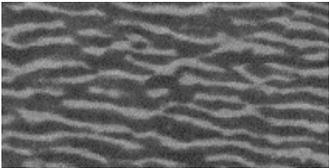
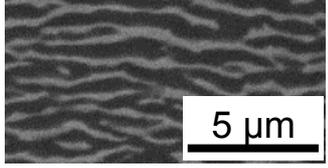
クリープ試験: 1100°C / 137MPa



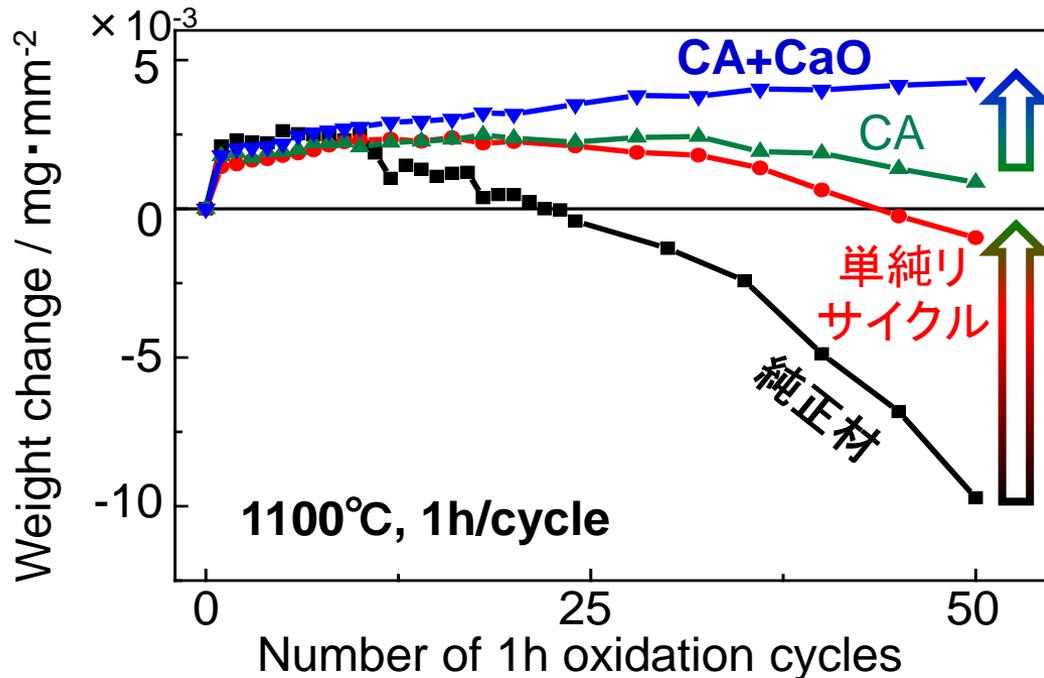
カウンターアロイとCaO脱硫により純正材とほぼ同等のクリープ寿命が得られた。

S. Utada et al., Superalloys 2016

γ/γ' 相の形状、クリープ後のラフト等のミクロ組織において変化はなかった。

	純正材	CA+CaO
Before (Heat treated)		
After creep		

耐酸化特性：大気中1100°C、1時間繰返酸化試験

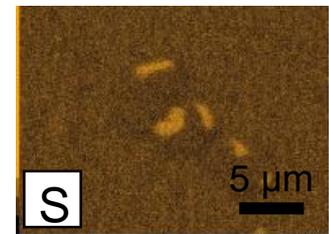
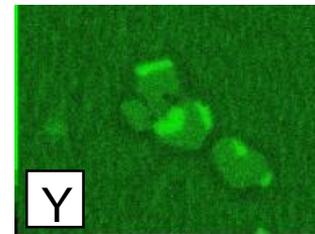


S. Utada et al., Superalloys 2016

再溶解中の脱硫による
耐酸化性向上

その他の要因

- ・不純物SiとZrの混入による酸化皮膜密着性の向上
- ・Y-S化合物によるS固着



カウンターアロイとCaO脱硫により、耐酸化特性の向上が明らかとなった。

