

低炭素化社会を実現する 耐熱・耐環境材料の開発

-発電プラントの効率向上・長寿命化を目指して-

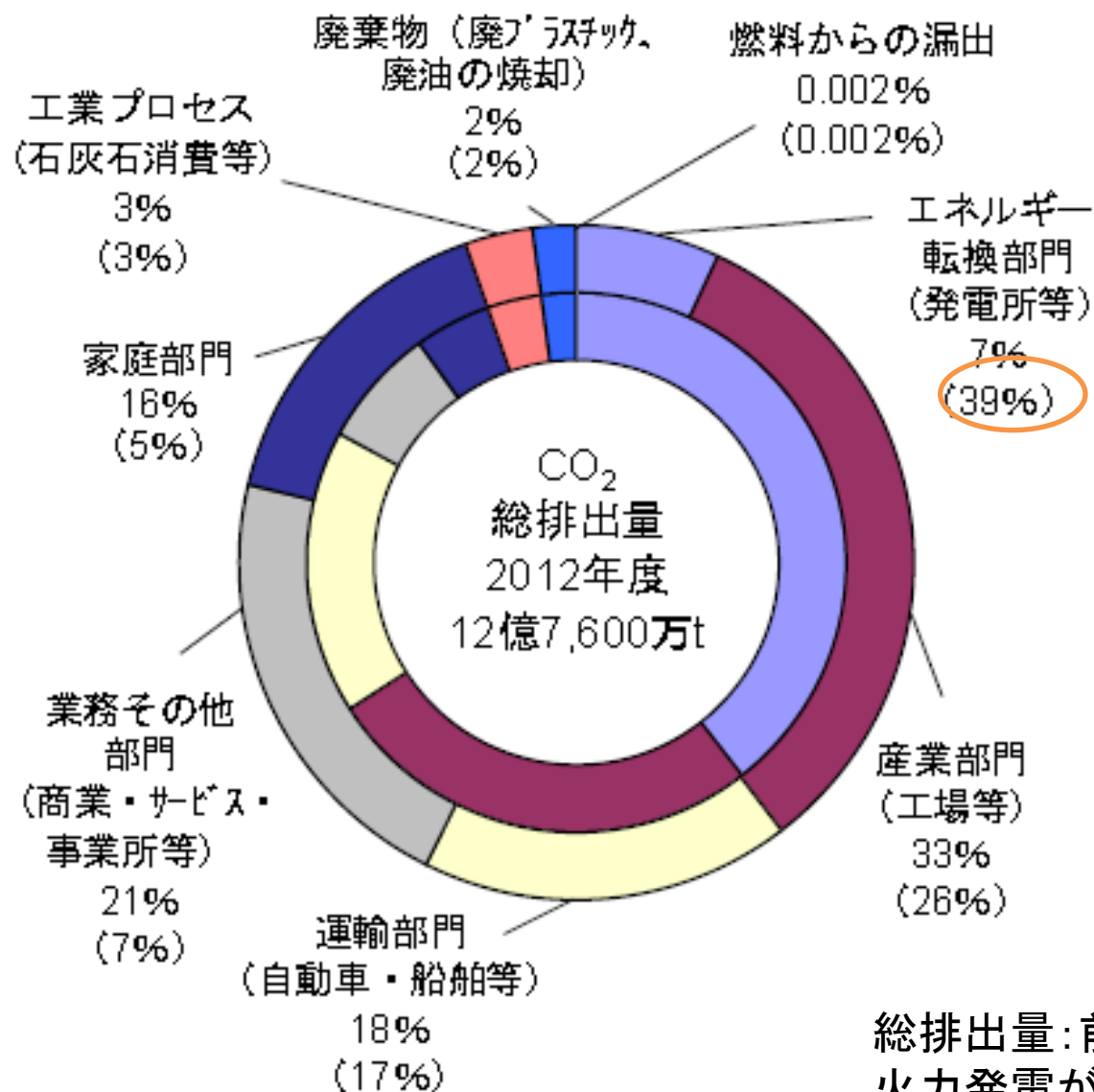
先進高温材料ユニット
黒田聖治

御手洗容子、村上秀之
戸田佳昭、谷月峰、土佐正弘



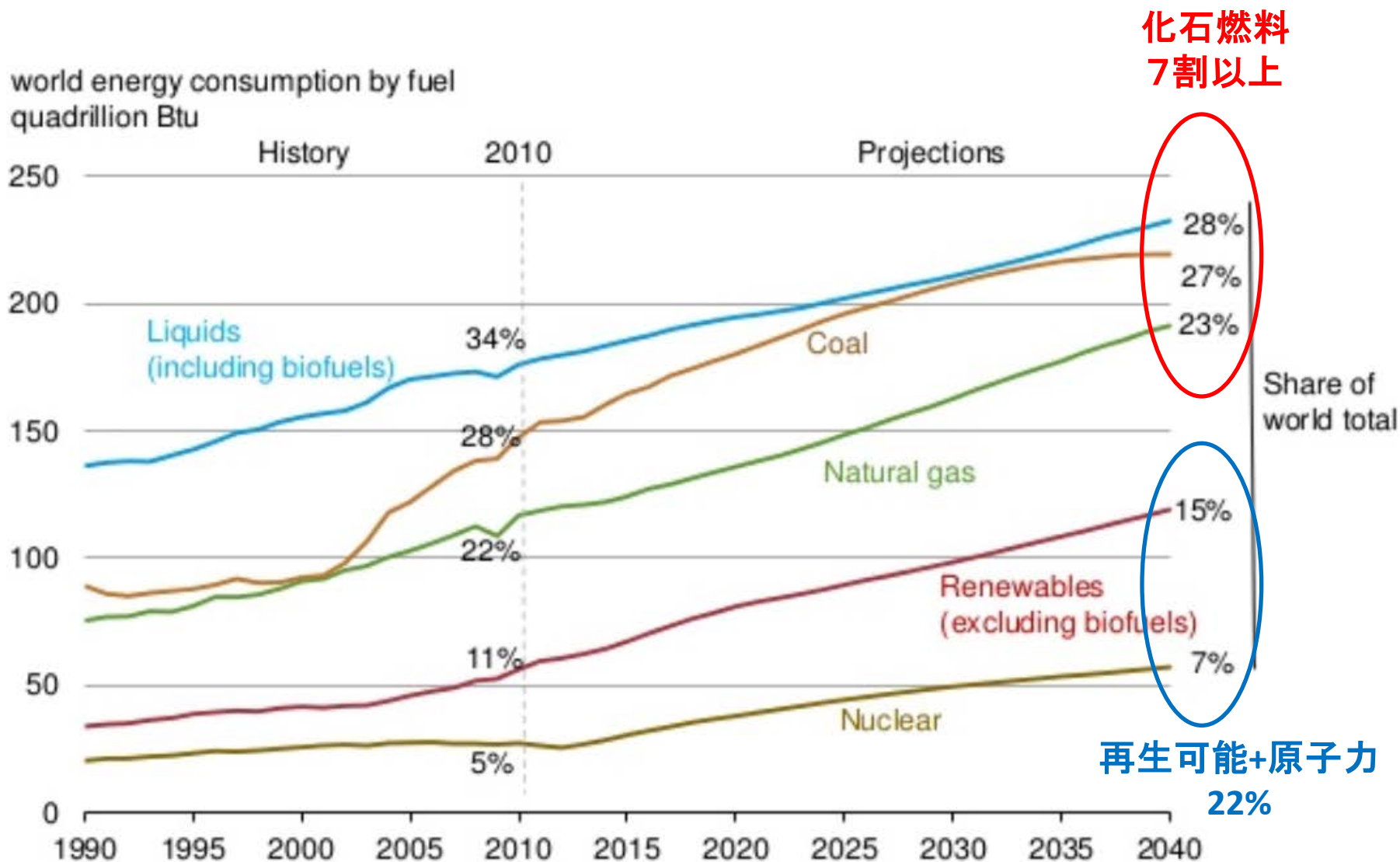
概 要

1. 耐熱・耐環境材料の重要性とNIMSの実績
2. フェライト耐熱鋼(>700°C)
3. オーステナイト基耐熱超合金(>750°C)
4. コーティング
5. まとめ



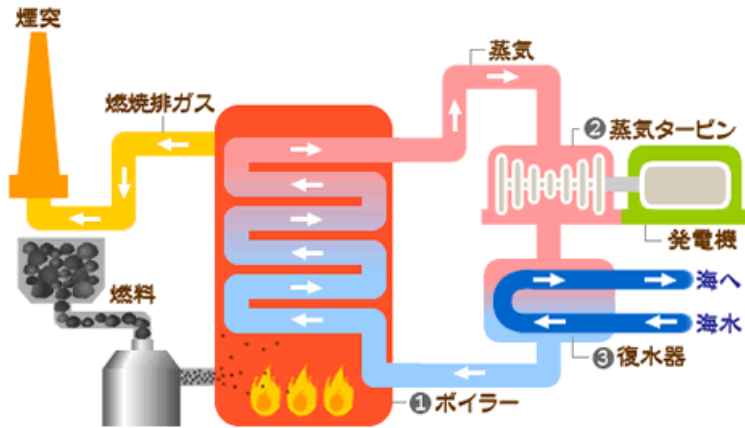
2012年度(平成24年度)の温室効果ガス排出量(確定値)について : 国立環境研究所(2014.04.15)

世界のエネルギー需要予測

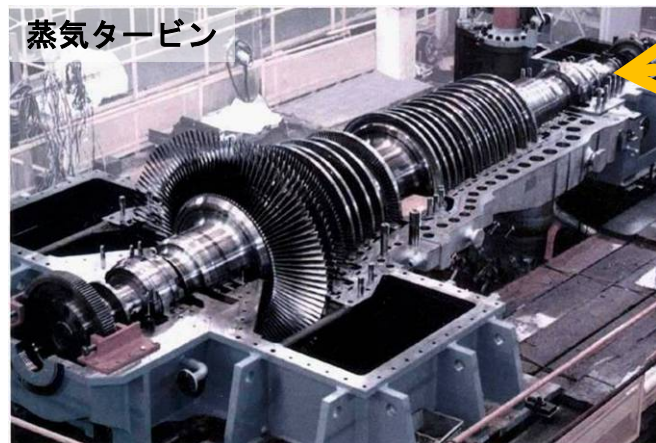
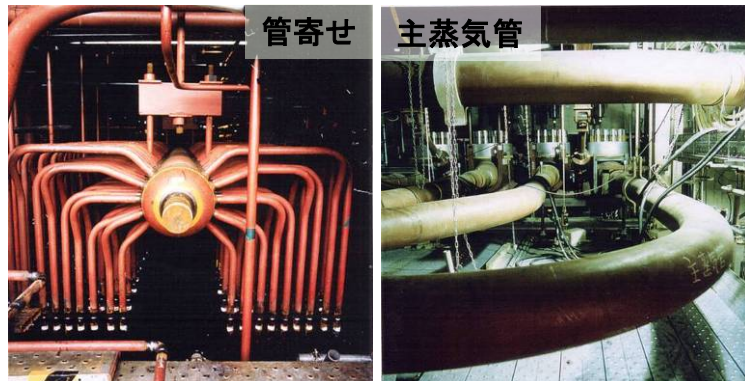


Source: EIA, International Energy Outlook 2013

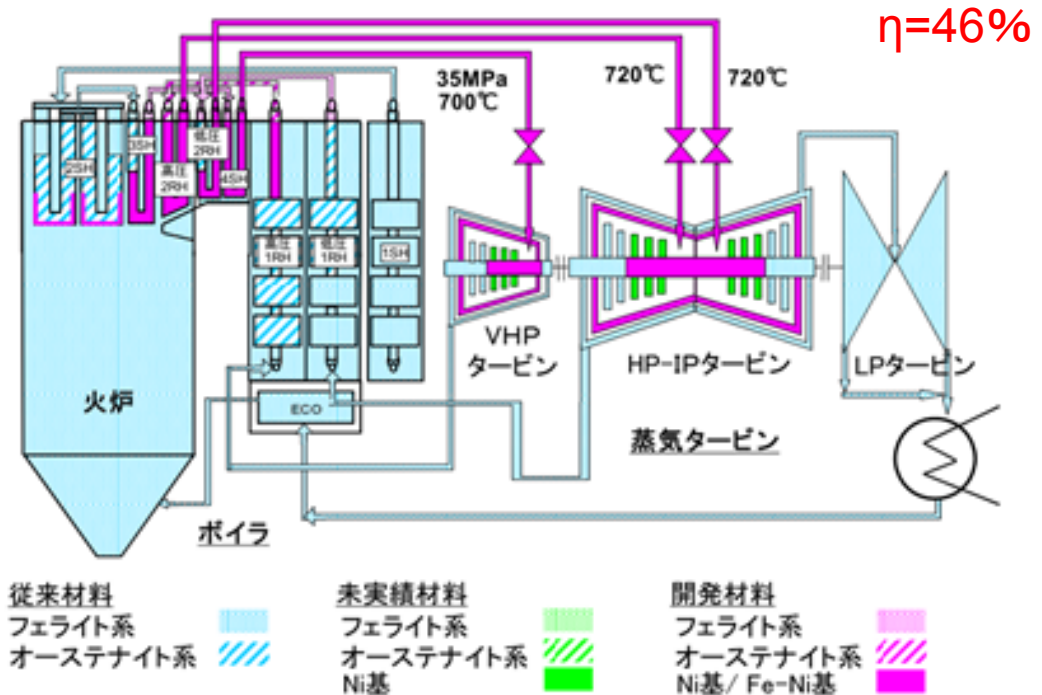
火力発電プラントの高効率化



現在の火力発電プラントは、 600°C ・ 25MPa の蒸気条件で操業
送電端熱効率: 42%

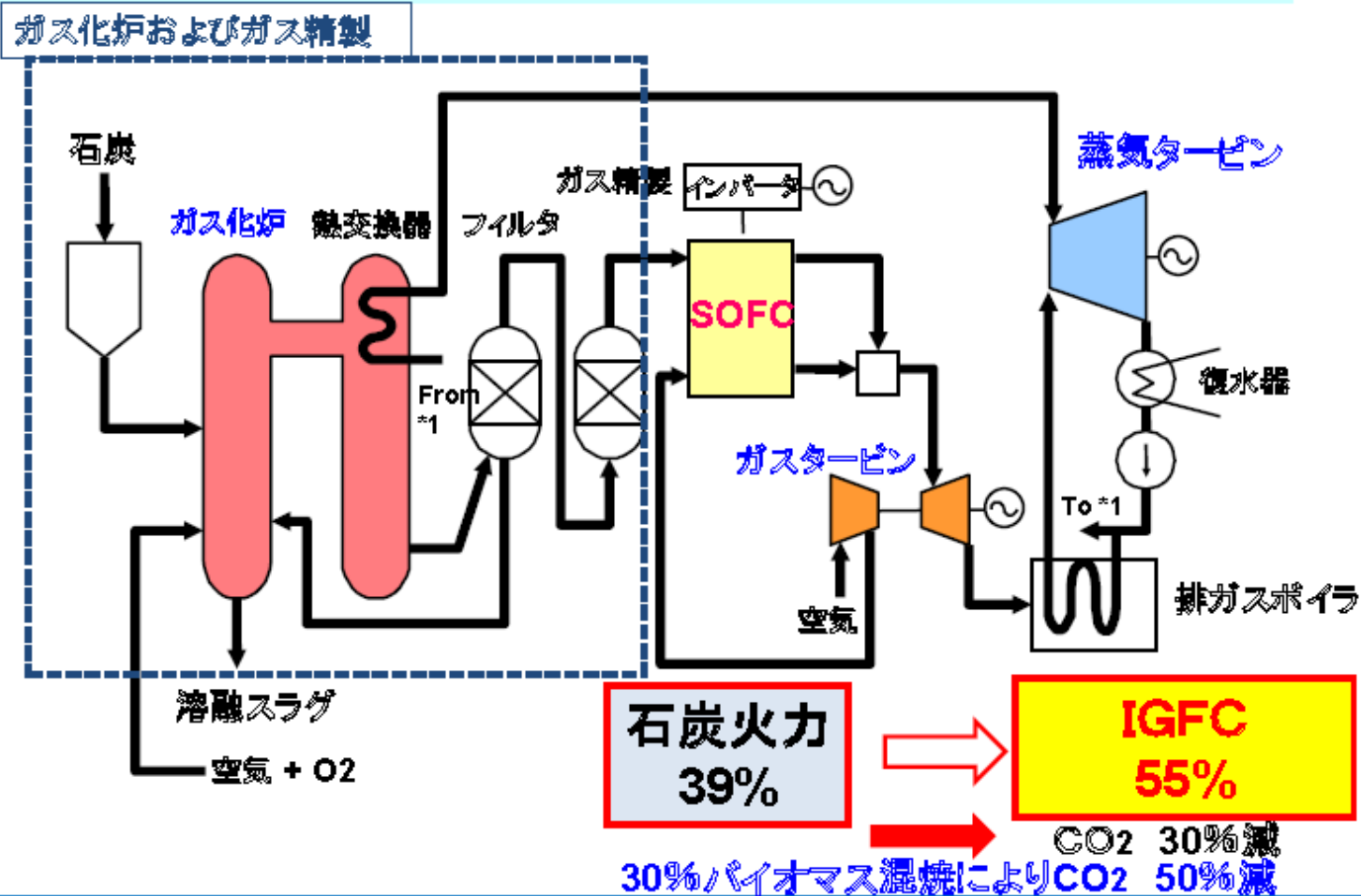


700°C級二段再熱型A-USCプラント

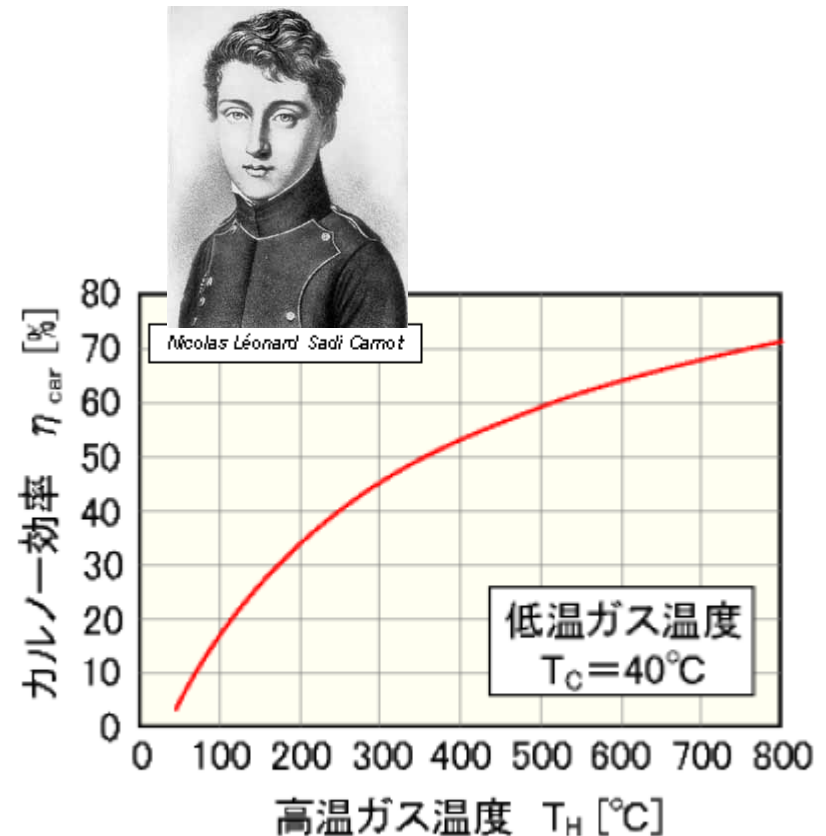
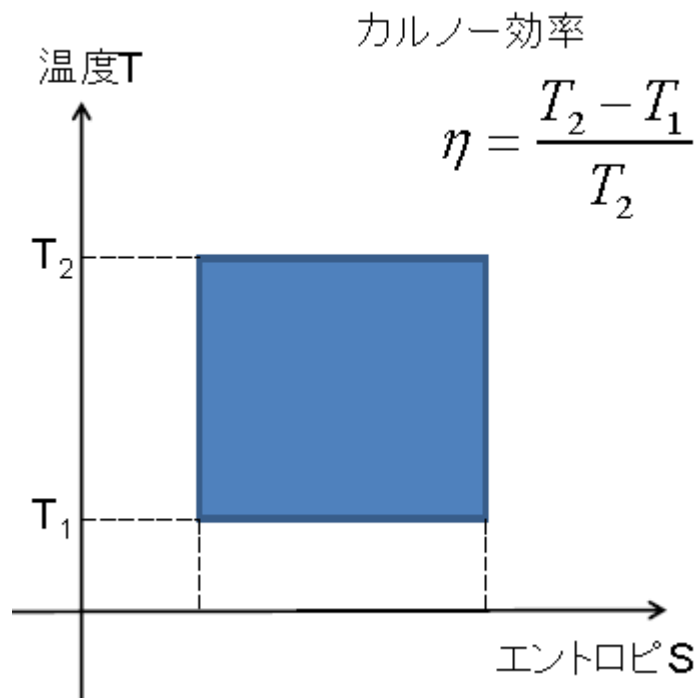


火力発電技術の革新

石炭ガス化トリプル複合発電 (IGFC) (石炭ガス化とSOFCの組合せ)



火力発電効率の鍵：高温材料



NIMSの耐熱材料研究・開発

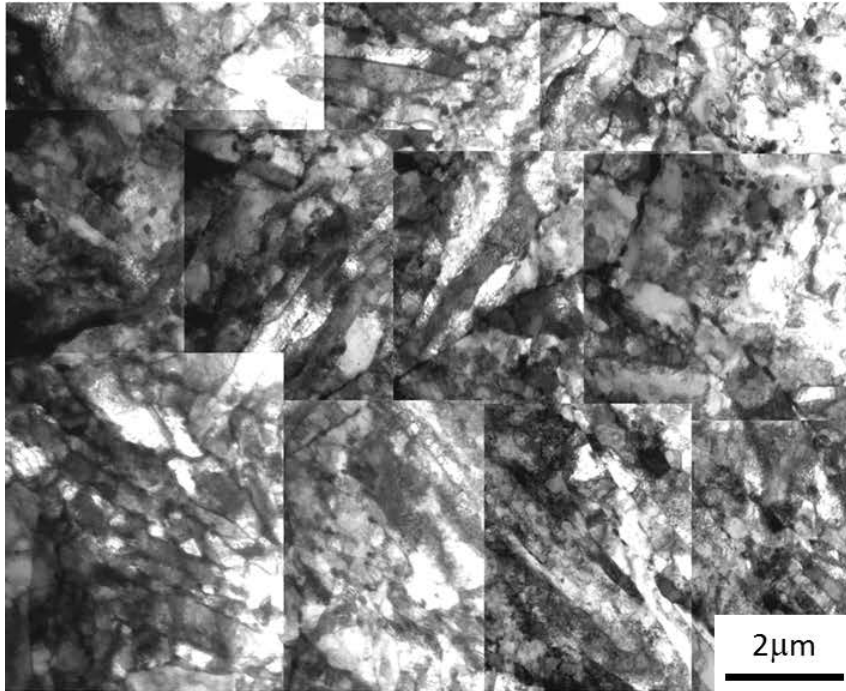
- 30年以上の長期クリープ試験
 - 発電材料規格の見直しや合金開発のアイデア
- ニッケル基超合金
 - B787に搭載の最新型R-R製エンジンに実用
- ボロン添加耐熱鋼
 - 超鉄鋼プロジェクトの成果、NEDOで実証試験中

発電プラントの高温部材に要求される諸特性

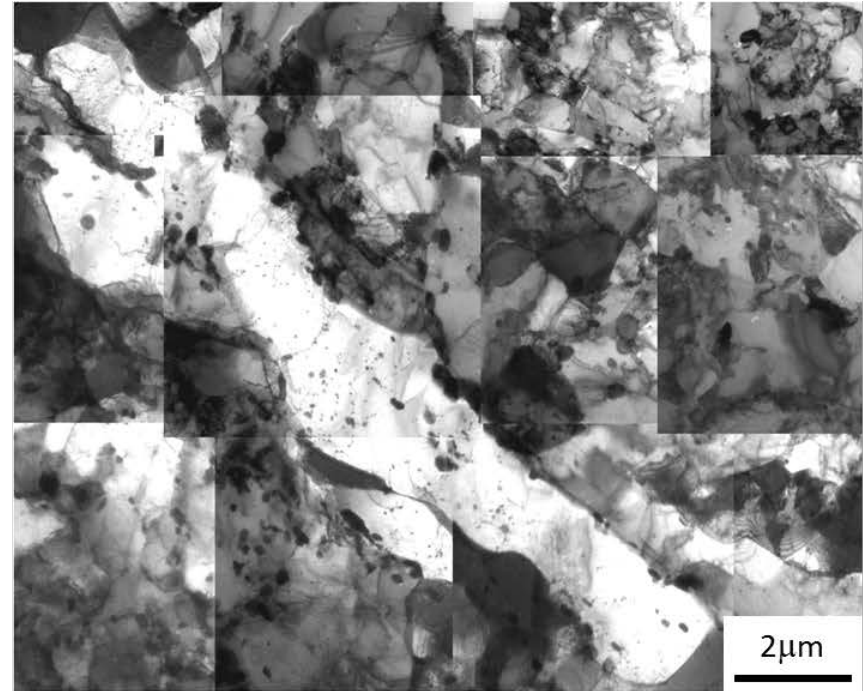
	長時間クリープ	耐酸化性	熱伝導率	熱膨張
フェライト耐熱鋼	☹	☹	😊😊	😊😊
オーステナイト耐熱鋼	😊	😊	☹	☹
Ni-基超合金	😊😊	😊😊	😐	😐

	クリープ疲労	成形・加工性	溶接性	コスト
フェライト耐熱鋼	😊😊	😊😊	😊😊	😊😊
オーステナイト耐熱鋼	☹	😐	😐	😐
Ni-基超合金	😐	☹	☹	☹

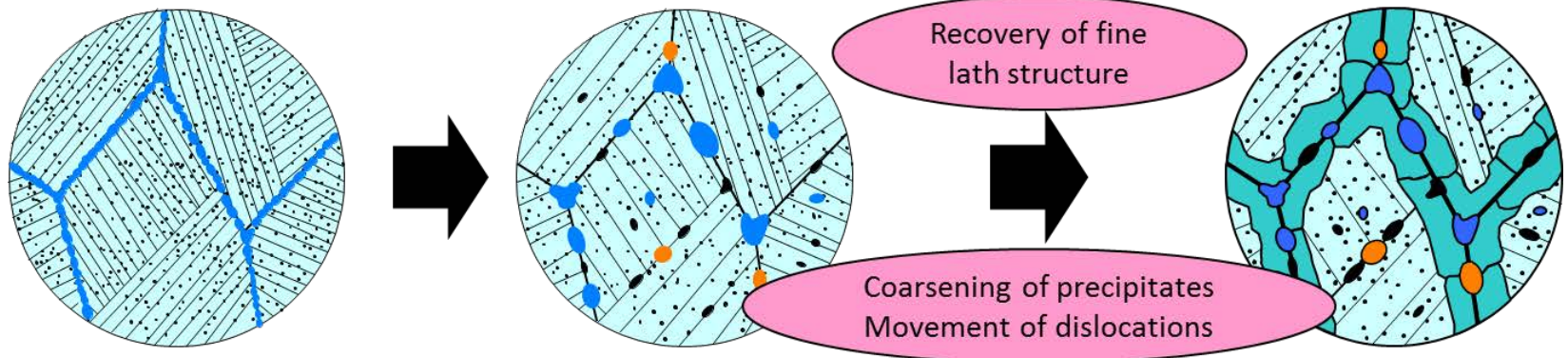
従来のフェライト耐熱鋼の微細組織変化



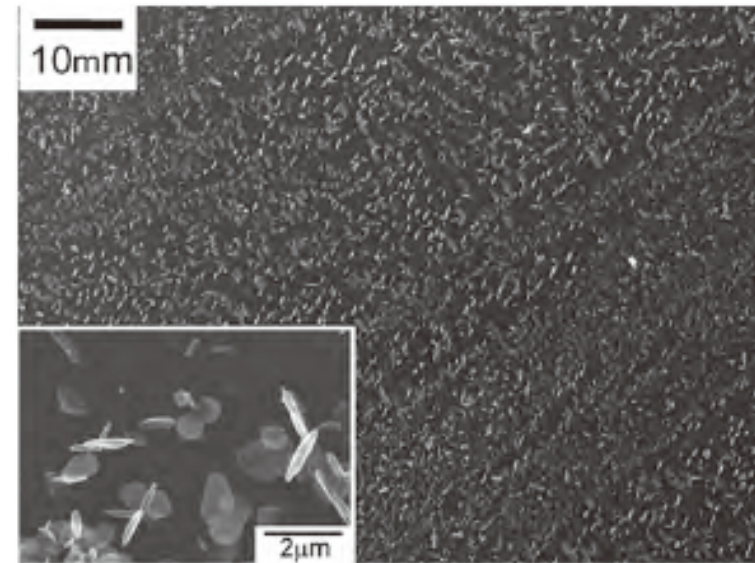
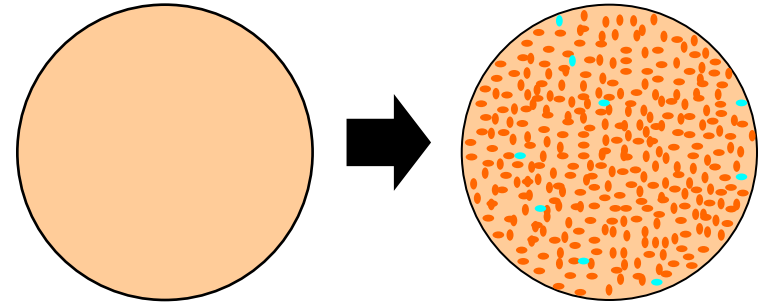
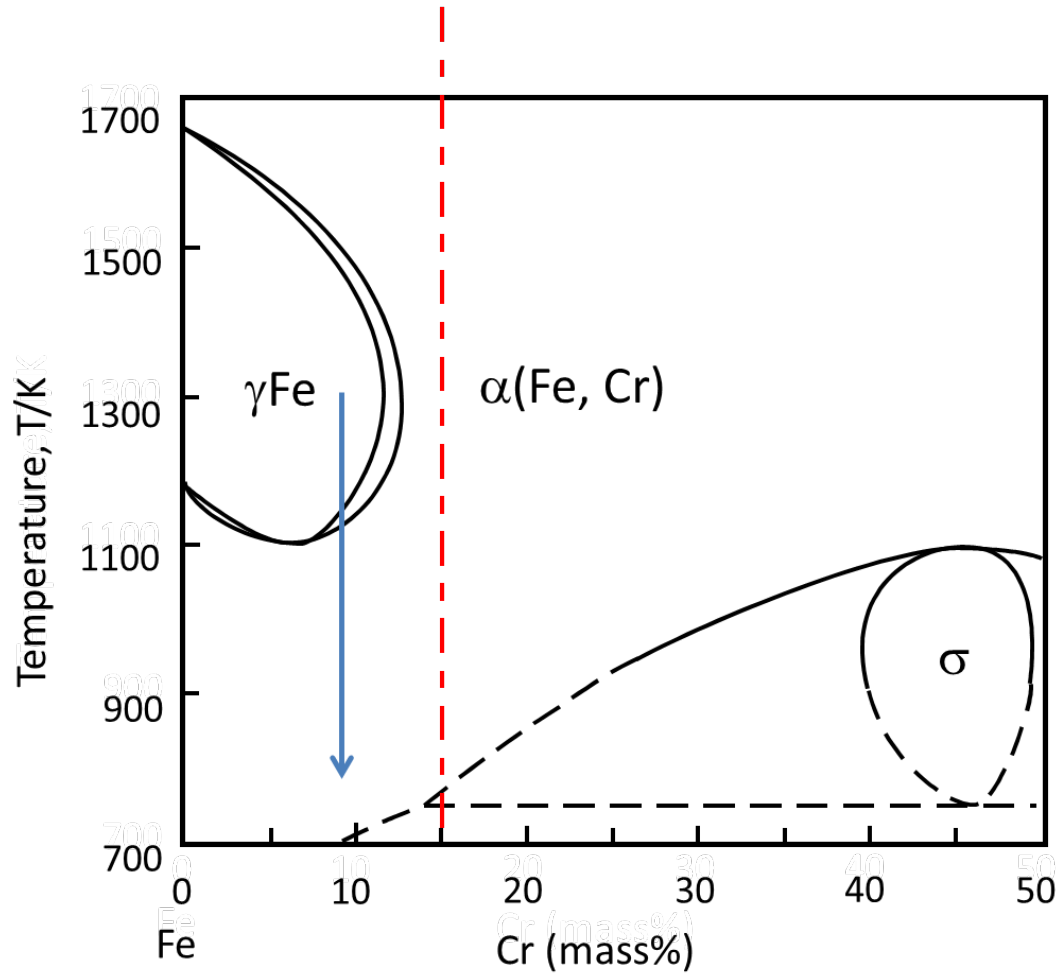
ASME T91: 焼き戻しマルテンサイト



600°C-100MPa, 3.4万時間



15Cr ferritic steel with ferrite matrix



高Crフェライト耐熱鋼の化学組成

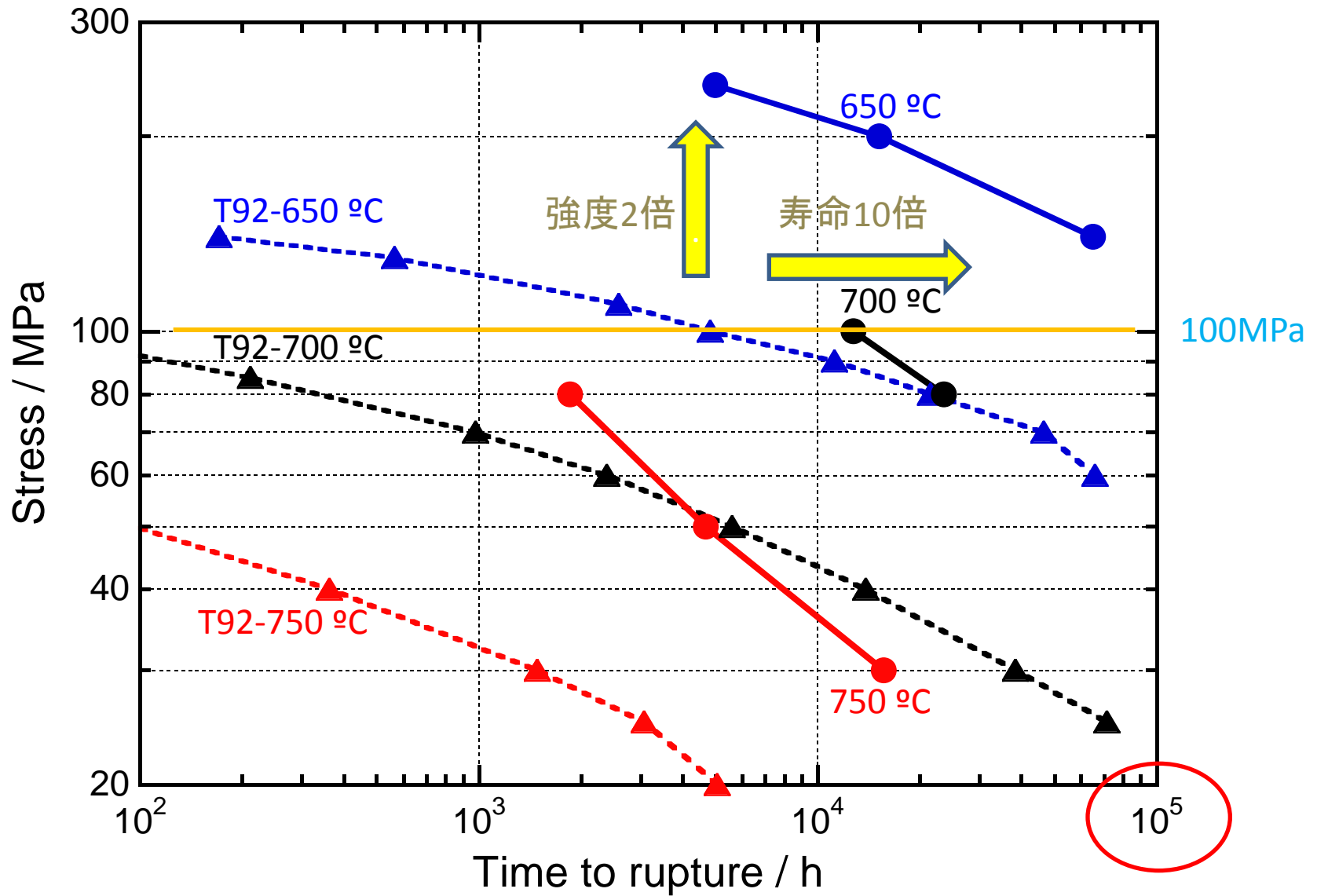
Chemical compositions of the stainless steels for boiler tube at power plants (mass%)

Steels	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V	Nb	Ni	Cu	Co	N	Al	B
T/P91	0.08 0.12	0.20 0.50	0.30 0.60	0.020	0.010	8.00 9.50	0.85 1.05	—	0.18 0.25	0.06 0.10	0.40	—	—	0.030 0.070	0.04	—
T/P92	0.07 0.13	0.50	0.30 0.60	0.020	0.010	8.00 9.50	0.30 0.60	1.50 2.00	0.15 0.25	0.04 0.09	0.40	—	—	0.030 0.070	0.04	0.001 0.006
T/P122	0.07 0.14	0.50	0.70	0.020	0.010	10.00 12.50	0.25 0.60	1.50 2.50	0.15 0.30	0.04 0.10	0.50	0.30 1.70	—	0.040 0.100	0.04	0.0005 0.005
NIMS original	0.05	0.2	0.5	0.001	0.002	15.0	1.0	6.0	0.2	0.05	~2.0	—	3.0	0.03	0.001	0.003

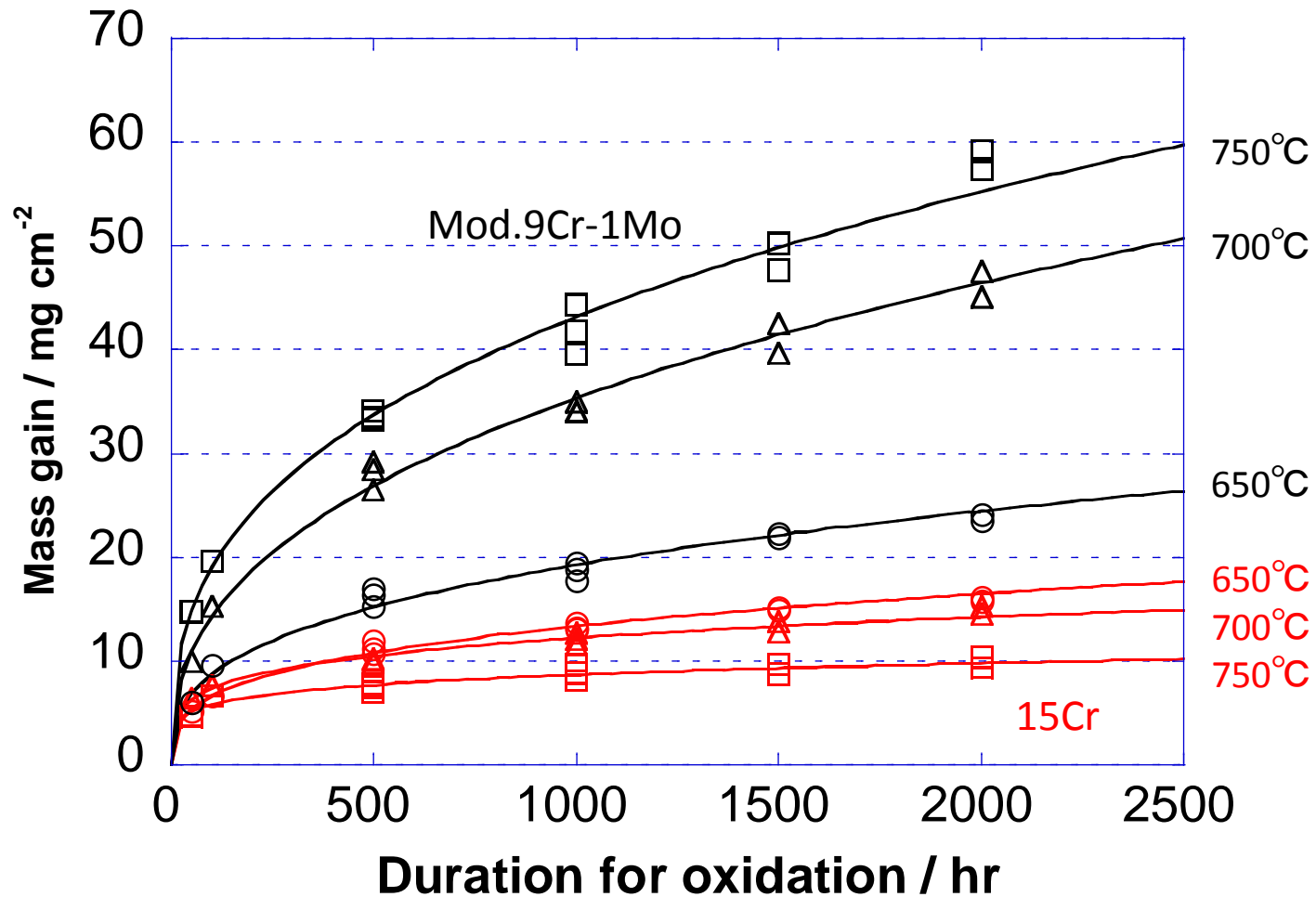
Standards for Thermal Power Generation Facilities: Japan Society of Mechanical Engineers, (2000)

Fe₂W
ラーベス相

応力 vs. クリープ破断曲線



水蒸気酸化試験の結果



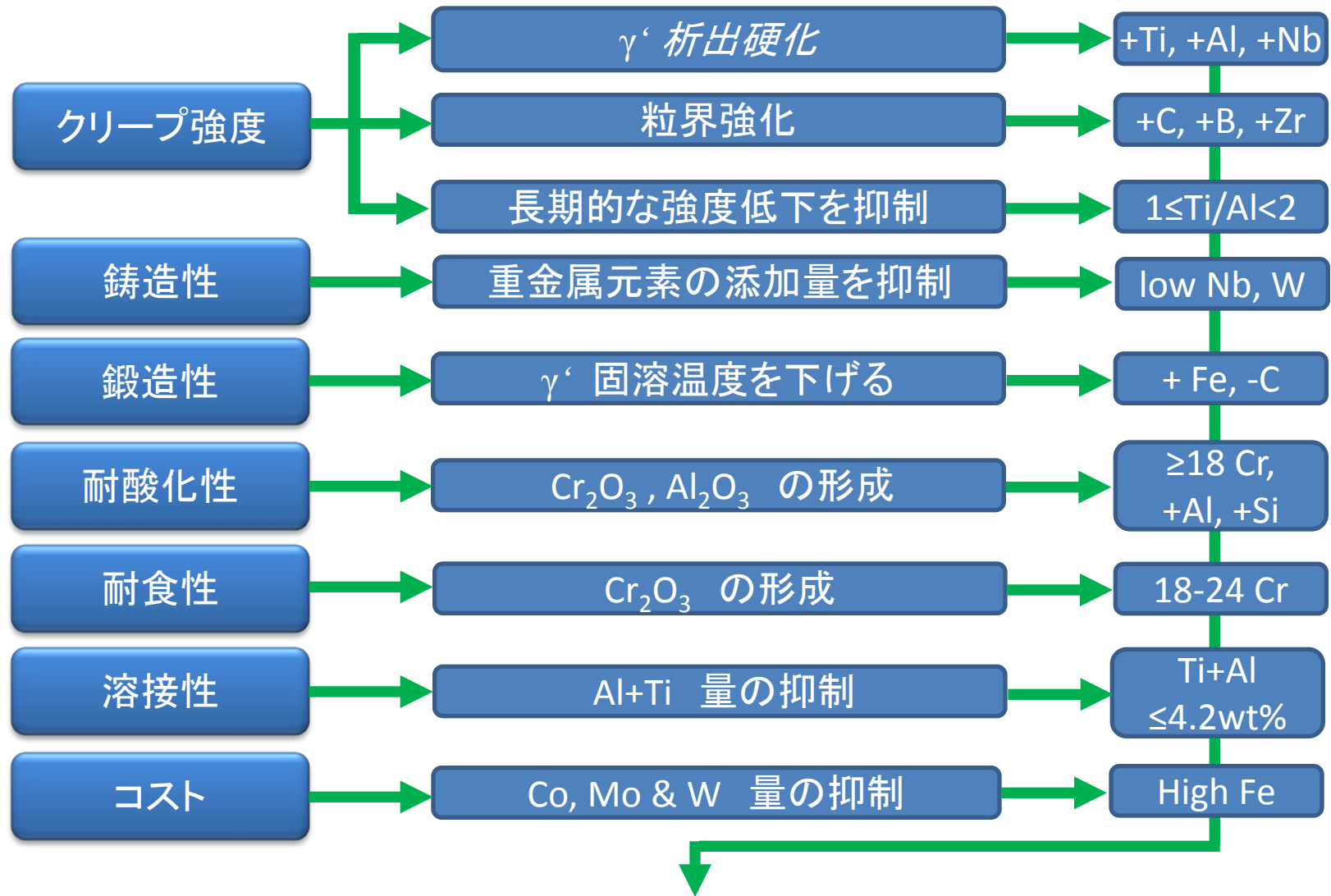
実用に向けて検討中：靱性、溶接性、製造性

A photograph of a long, cylindrical, metallic component, likely a probe or sensor, lying on a white surface. A measuring tape is placed next to it for scale. The component has a label that reads "PS15C-FHRS" and a small blue logo. The component is polished and reflective. The measuring tape shows the component is approximately 60 cm long.

月16日にベルギー・リエージュで開催された第10回先進動力エネルギー材料に関する国際会議で発表したもの。

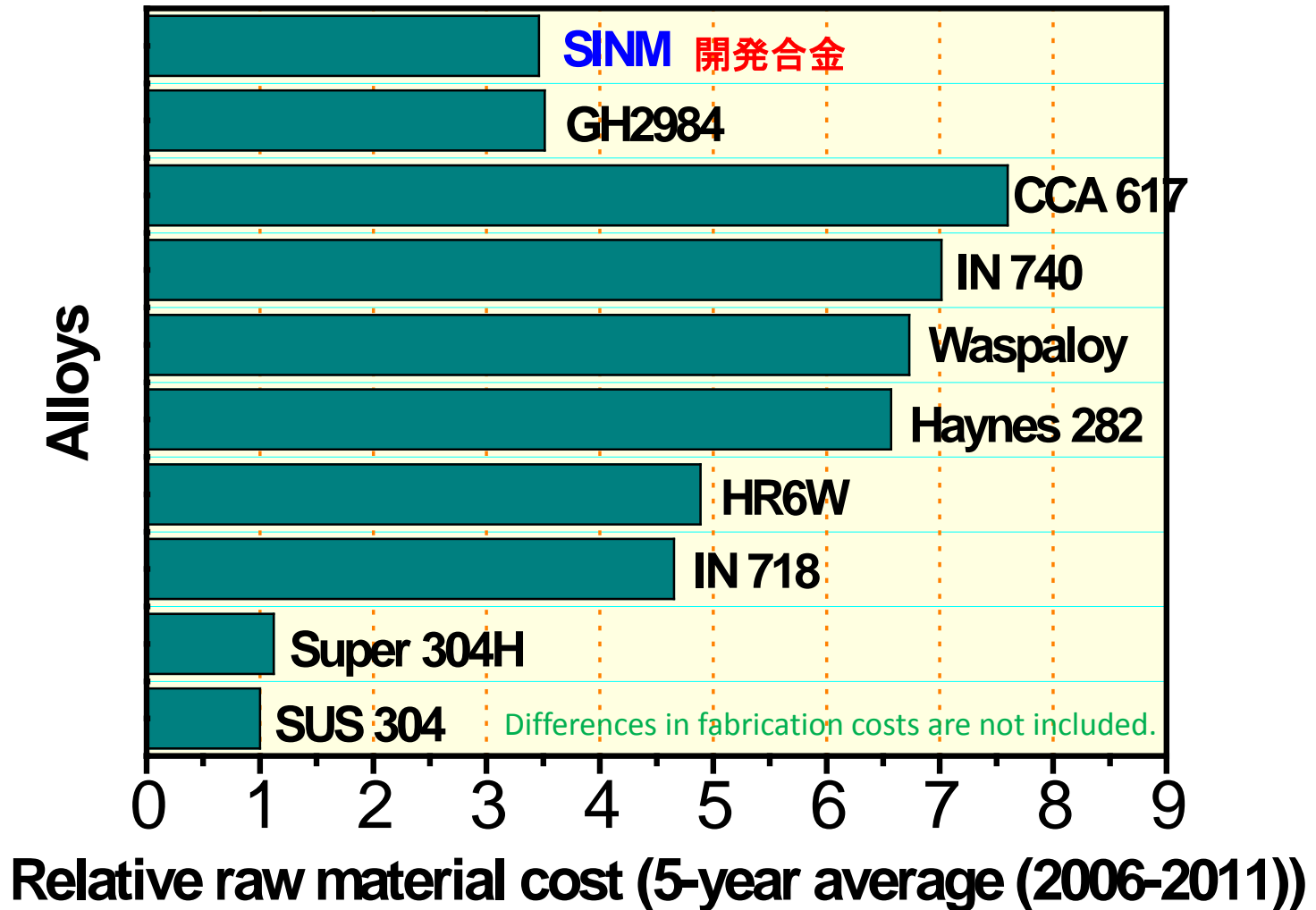
NIMSでは特殊鋼メーカーと共同で、合金を用いた熱間押出製造法によるポイラーチューブ（継目無鋼管）の試作にも成功しており、「今回の試作成功で、より強度の高いポイラーチューブが既存の鋼管製造法で造れることが確認できた」（戸田佳明・先進高温材料ユニット構造成能融合

オーステナイト基超合金の設計 (>750°C)

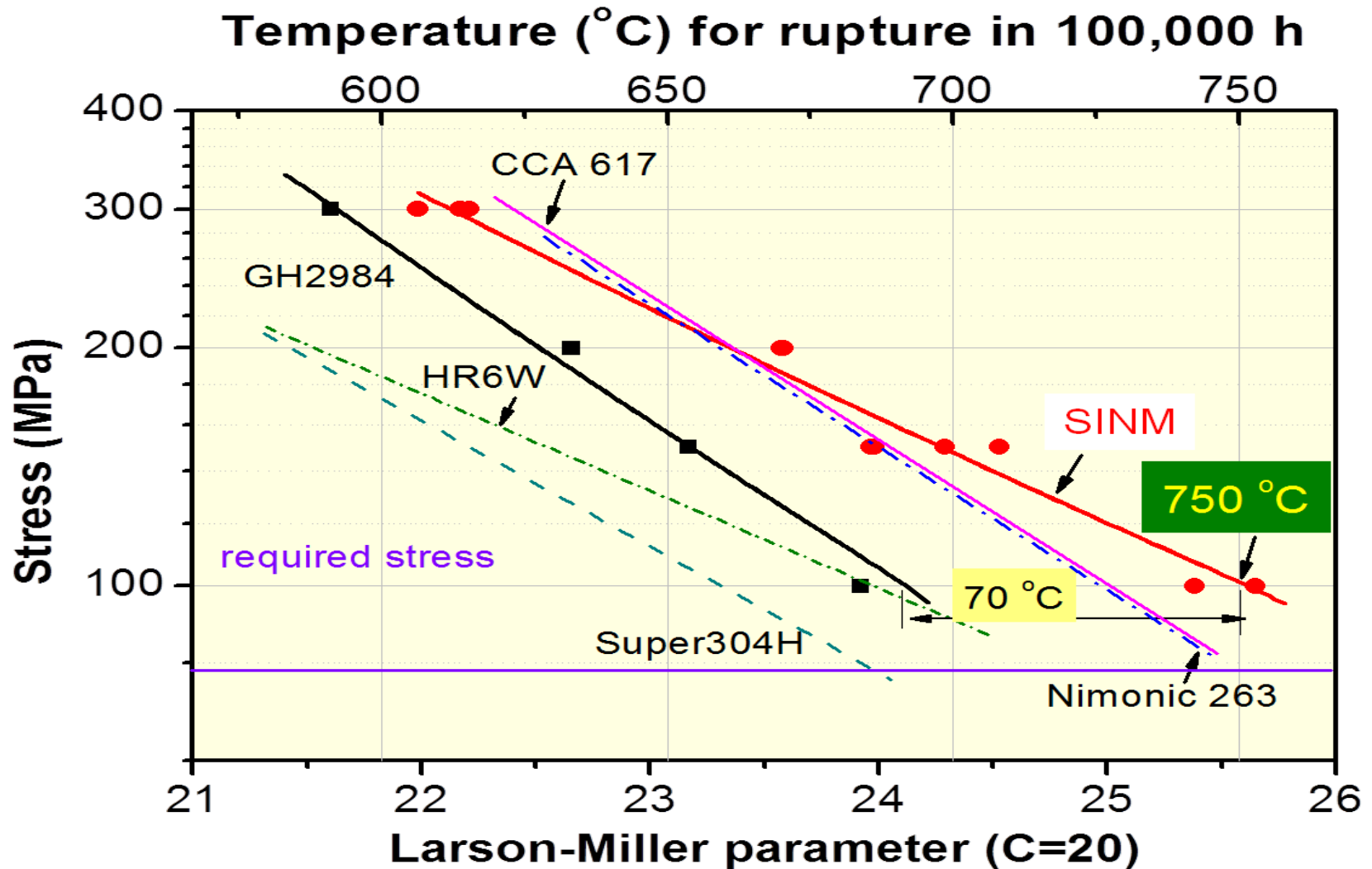


Element	Cr	Ni	Fe	Mo	Al	Ti	Nb	Si	C	B
Wt.%	18-23	40-50	15-35	0.5-1	1.0-2.0	1.0-2.5	0-1.5	<0.3	<0.06	≤0.005

材料コストの比較

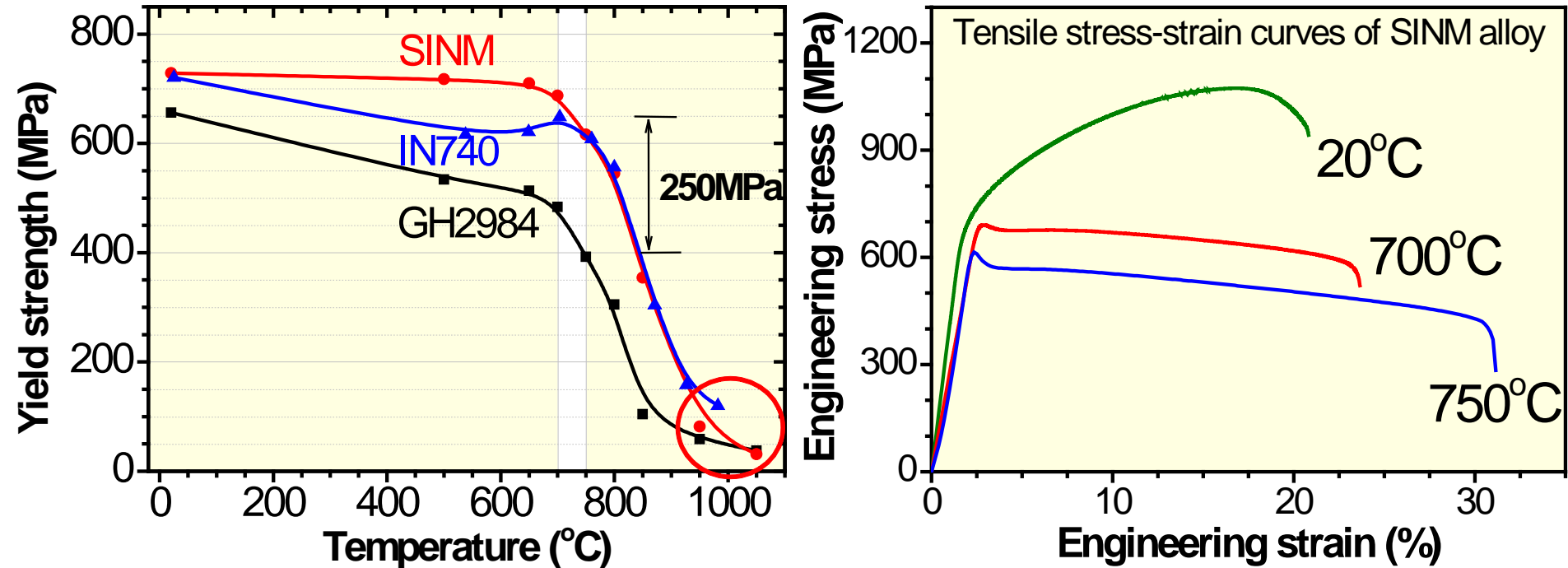


優れたクリープ特性



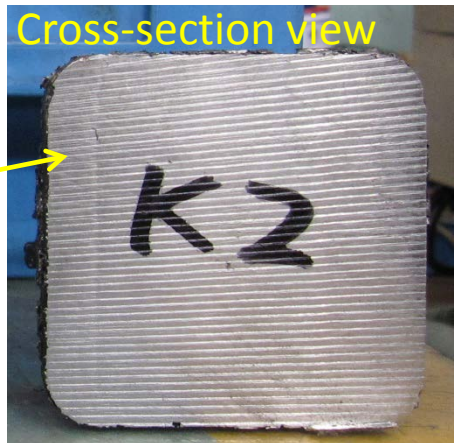
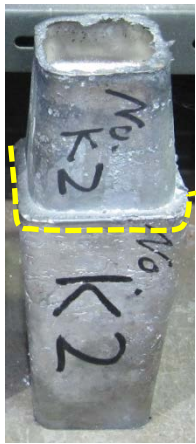
- ❑ Creep strength is superior to Ni-Fe base superalloys HR6W and GH2984.
- ❑ Creep strength is compares well to much more expensive CCA617 and 263 alloys.

強度・延性

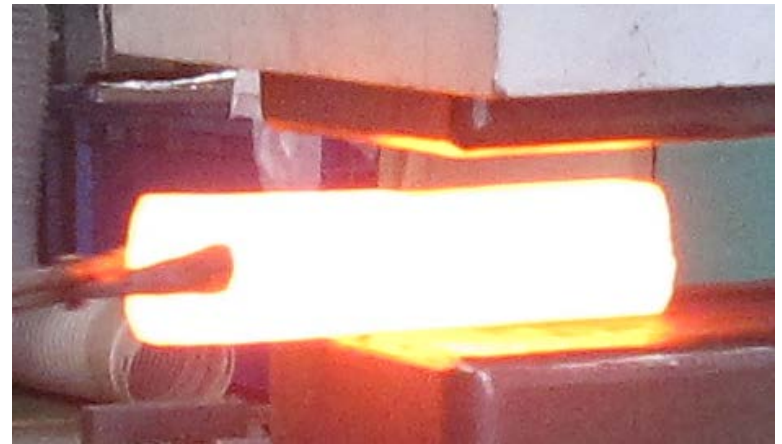


- ❑ At 700–750 °C, the YS of SINM alloy was comparable to that of IN740 alloy, but was 250 MPa higher than that of GH2984 alloy.
- ❑ Ductility does not drop to a low level at 700–750 °C.

鑄造、鍛造が容易



溶解・鑄造

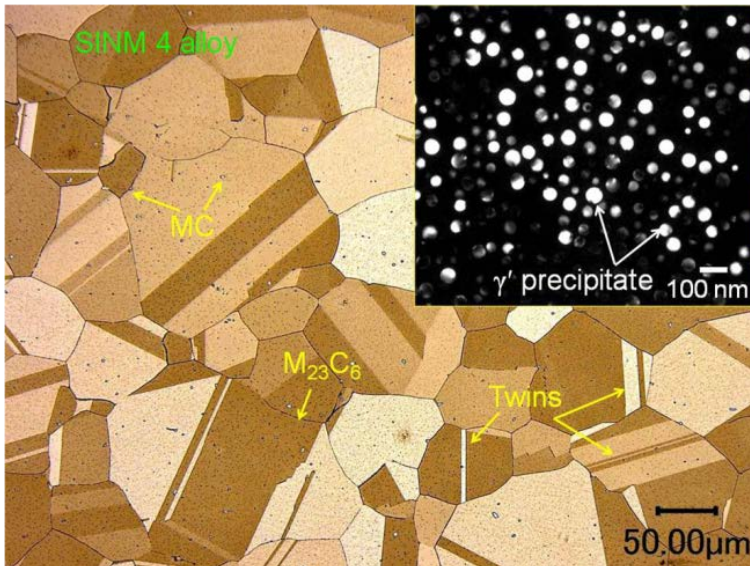


熱間鍛造



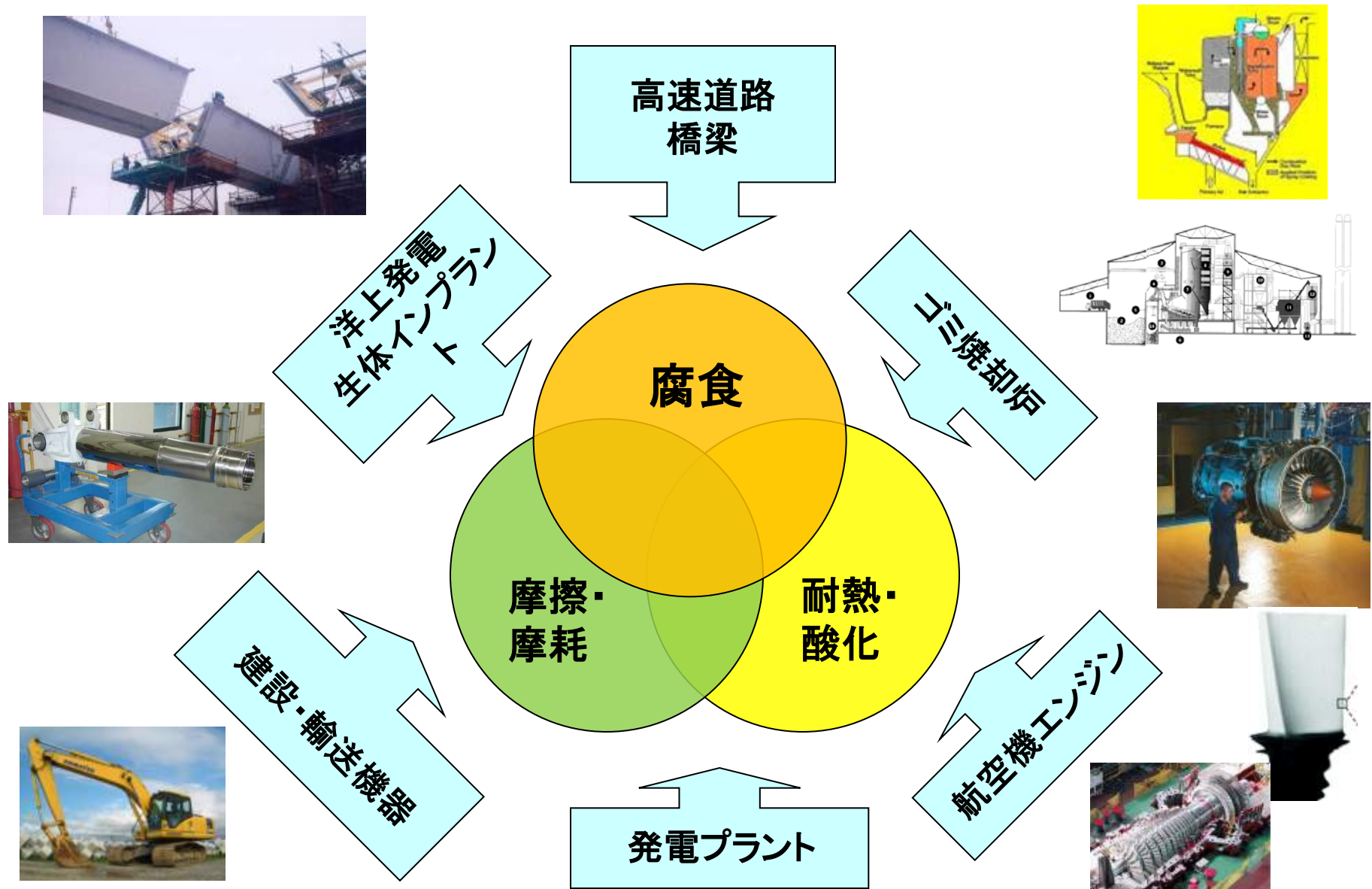
熱間圧延

1050–1200 °Cで容易に鍛造・圧延が可能



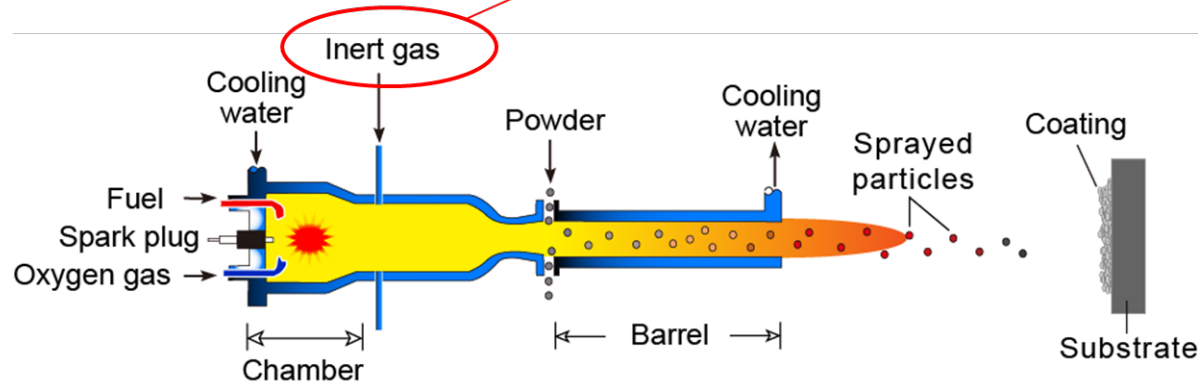
Microstructure (after heat treatment)

過酷化する使用環境: コーティングの重要性

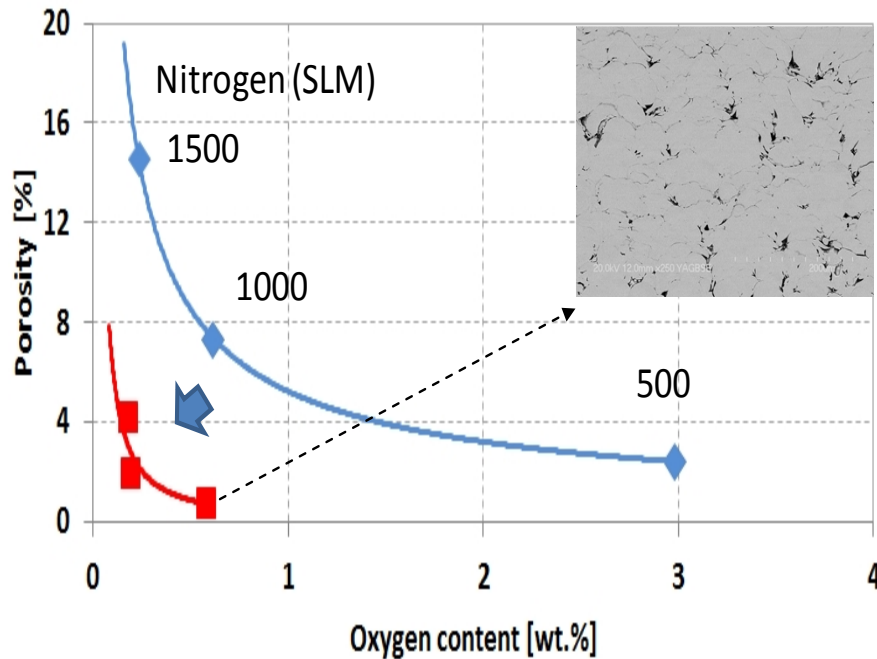


ウォームスプレーをさらに高速度化

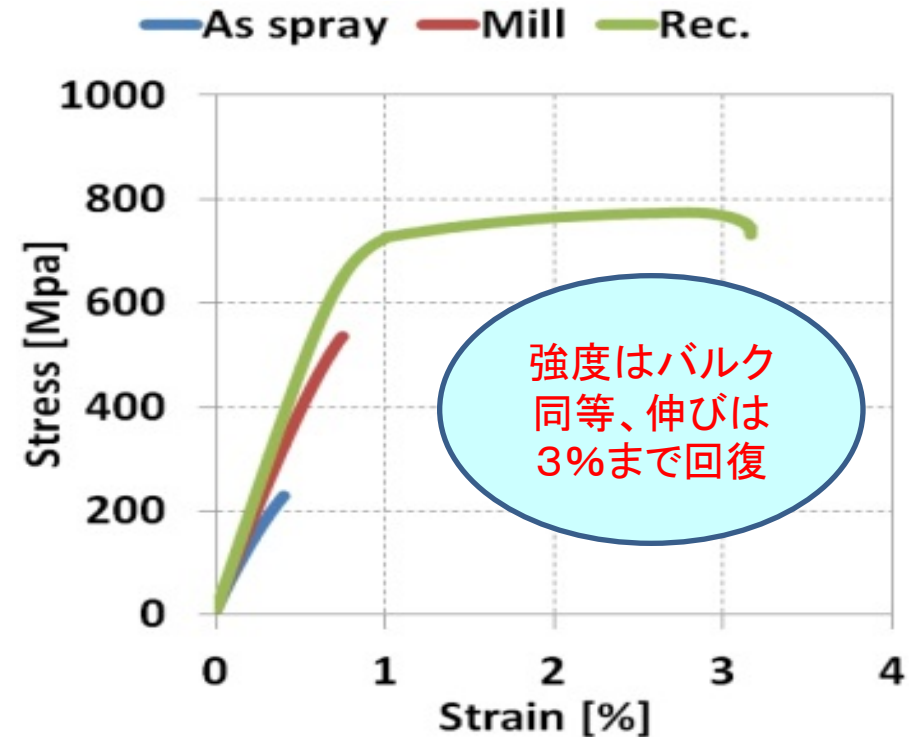
原料投入前にフラム温度を制御！



◆ 1 MPa ■ 4 MPa



Ti-6Al4V皮膜の気孔率と酸素含有量



熱処理後の皮膜の機械特性

まとめ



- NIMSの耐熱・耐環境材料研究
 - 40年以上の蓄積(研究者、装置→世界トップレベル)
 - 材料信頼性の評価+DB+解析
 - 計算材料科学の適用
- 材料開発のスピードUP
 - MIの活用、材料+コーティングの同時開発
- ユーザとの連携による実用化促進
 - 火力発電以外にも石炭ガス化複合発電、燃料電池、次世代原子力、石油プラント、航空機等への展開



エネルギー効率向上、プラント安全性向上に寄与