

2010年4月22日

# 次世代超合金開発 ～ 航空ニッポン復活を願って～

独立行政法人 物質・材料研究機構

超耐熱材料センター

ロールス・ロイス航空宇宙材料センター（兼務）

原田広史

# 高効率中型機ボーイング787 超高効率エンジン開発が不可欠

787 DREAMLINER



GE



(JAL機に採用)

Rolls Royce



(ANA機に採用)

# ボーイング787のCO<sub>2</sub>削減効果予測

## 東京-札幌間の乗客1名あたりCO<sub>2</sub>発生量

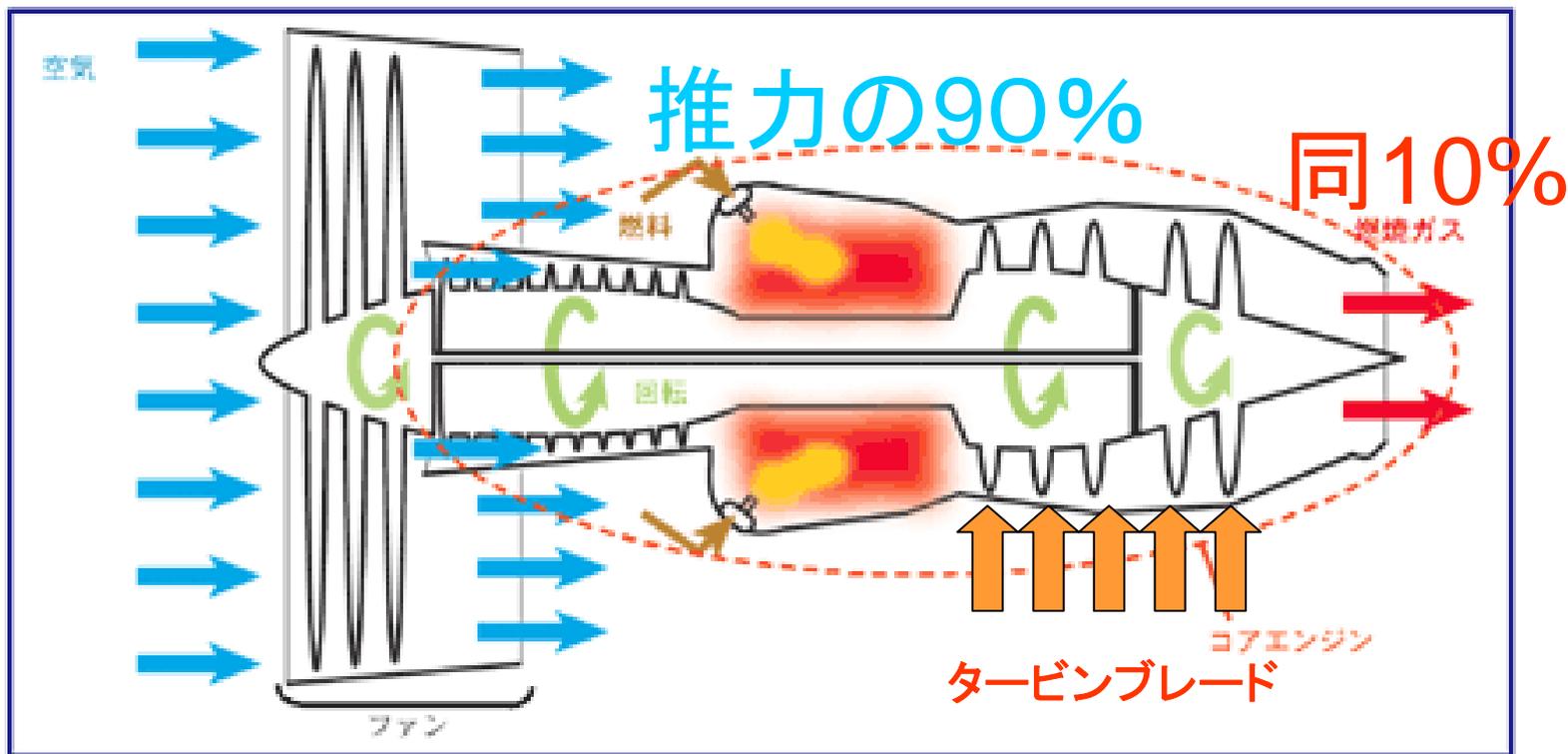
### ● Comparison of CO<sub>2</sub> emission rate per seat (Tokyo-Sapporo)



ANA機内誌より

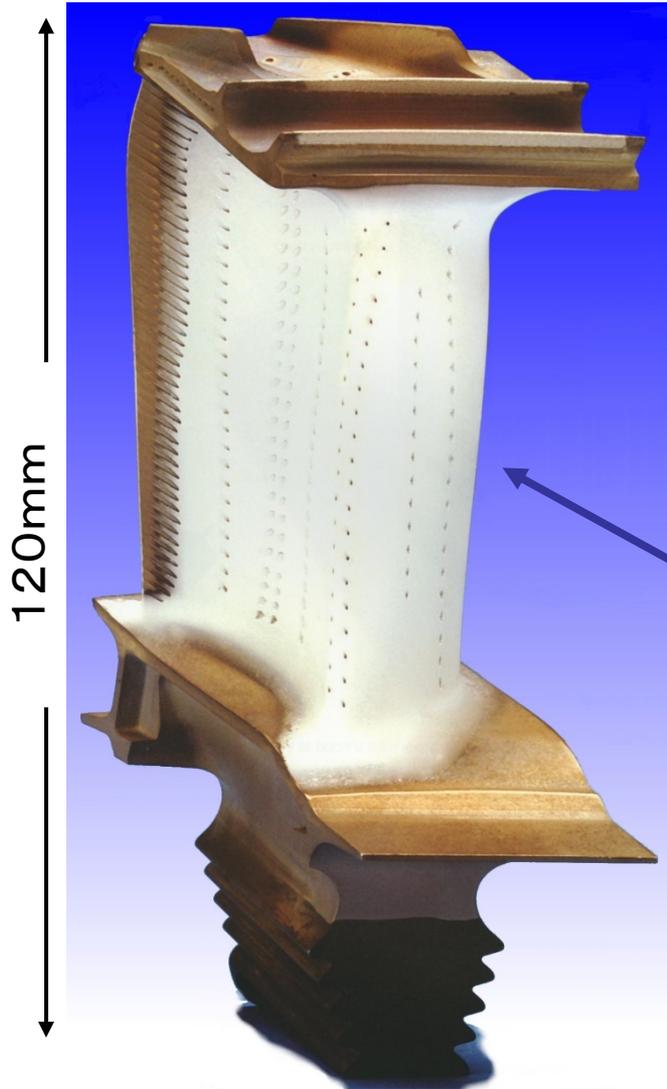
# ジェットエンジンの仕組み

## (ファンジェットエンジン)



- 熱膨張した燃焼ガスの圧力を回転力に変えてファンを回し、推力の大部分を得る
- 燃焼ガス温度を上げるほど効率向上(=燃費改善)
- タービンブレードの耐熱性向上が必要

# タービンブレード

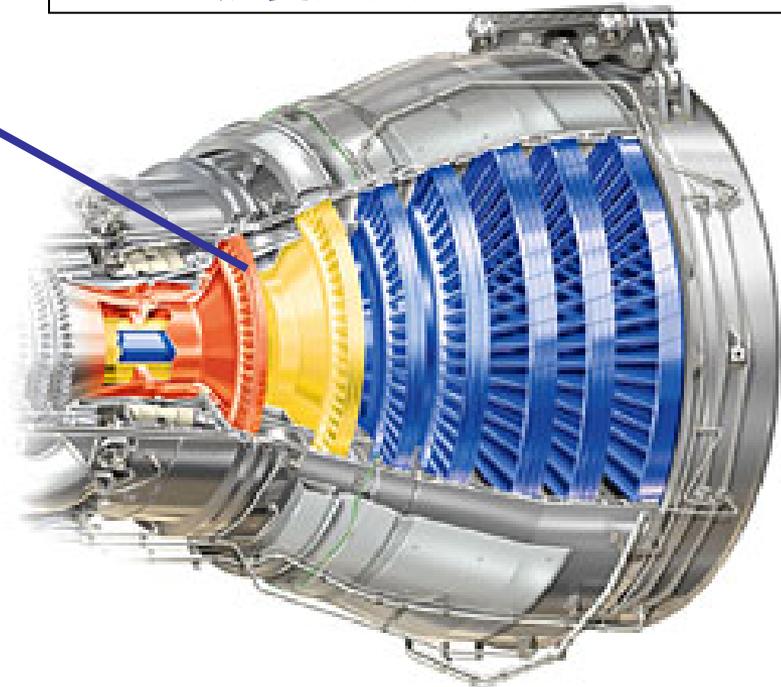


離陸時の燃焼ガス温度は $1600^{\circ}\text{C}$ 以上  
(ニッケルベース超合金の融点は $1350^{\circ}\text{C}$ )

- ・内部空冷(精密鑄造による中空鑄物)
  - ・セラミック遮熱コーティング(YSZ)
  - ・フィルム冷却(表面への空気吹きだし)
- メタル温度を $\sim 1050^{\circ}\text{C}$ にコントロール

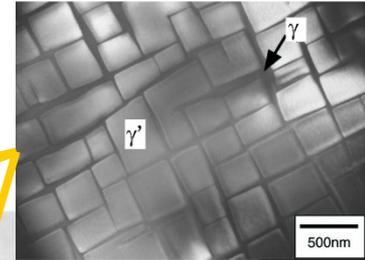
空冷は効率ロスの原因

超合金の耐用温度 $40^{\circ}\text{C}$ 向上(冷却空気減少)ごとに1%ずつ効率向上(1機1年1億円以上の燃費削減)

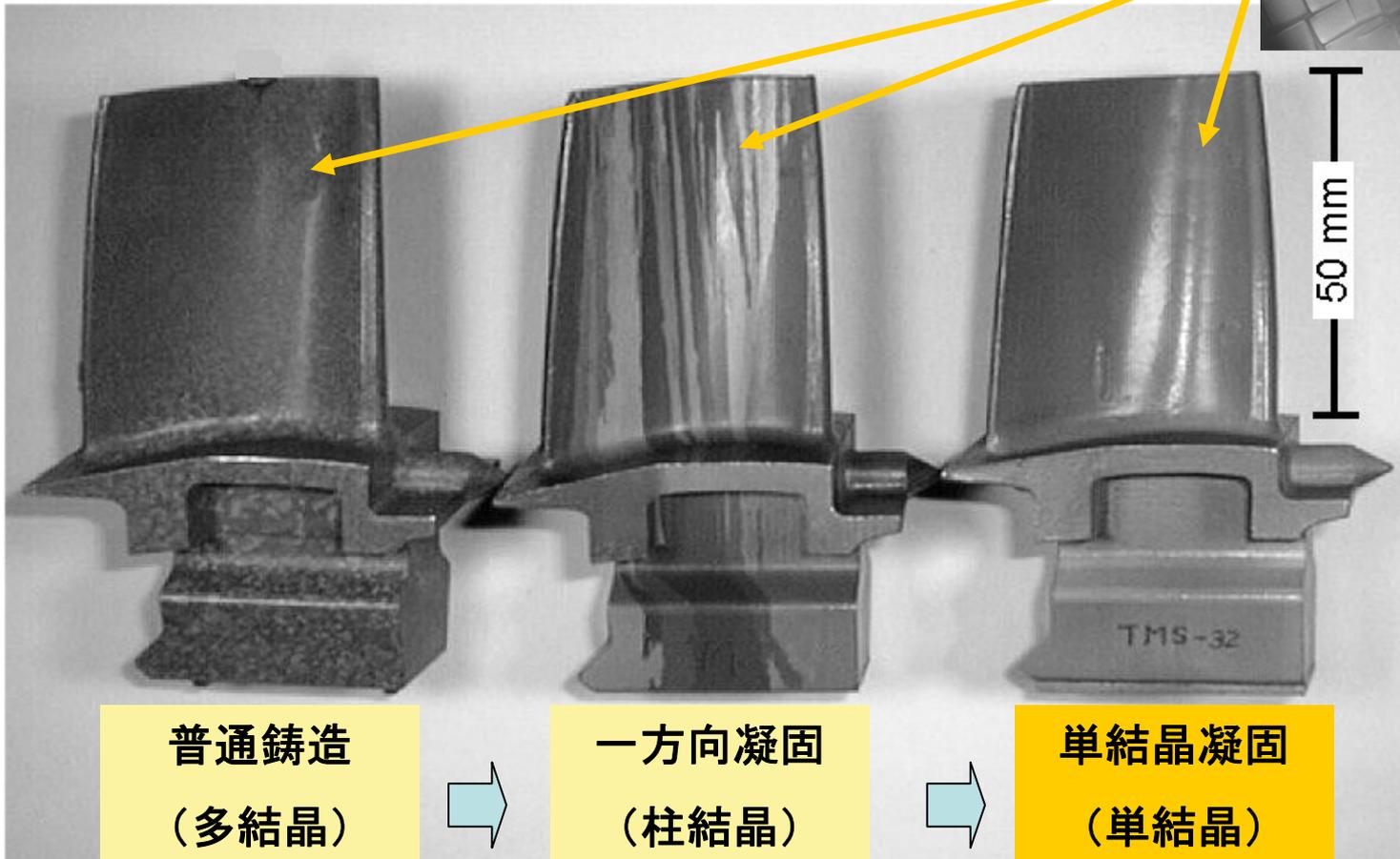


# 超合金タービンブレードの進化

Ni(ベース)-Co-Cr-Mo-W-Al-Ta-(Re-Ru)合金

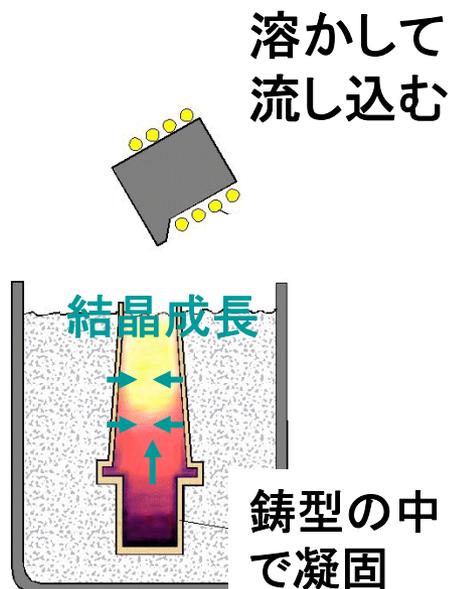


ミクロ構造

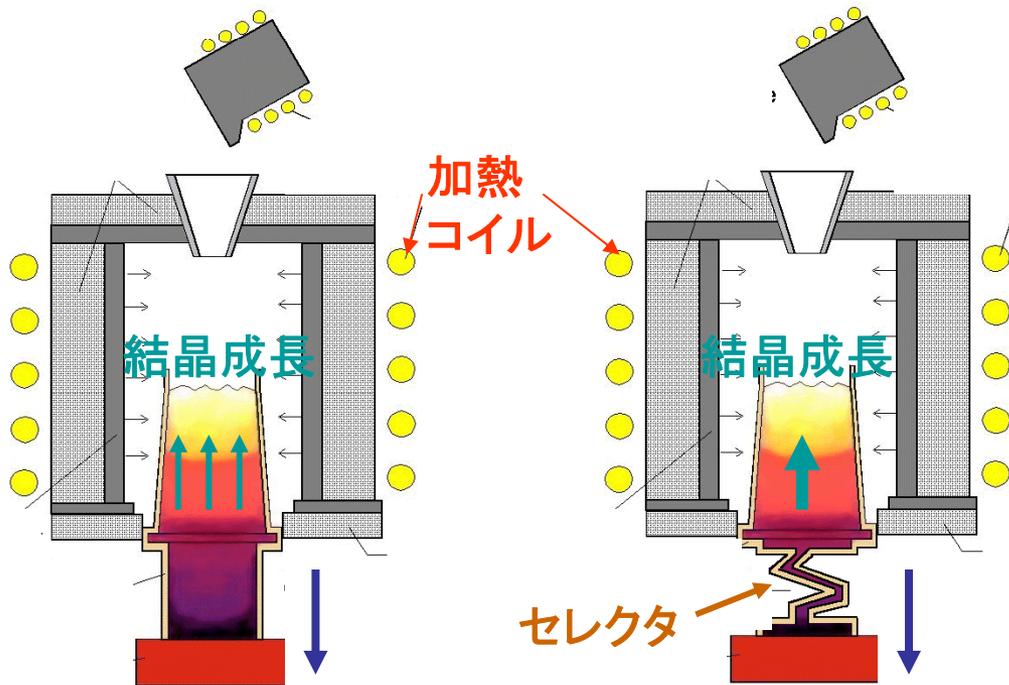


# タービンブレードの製造方法

## 普通 casting



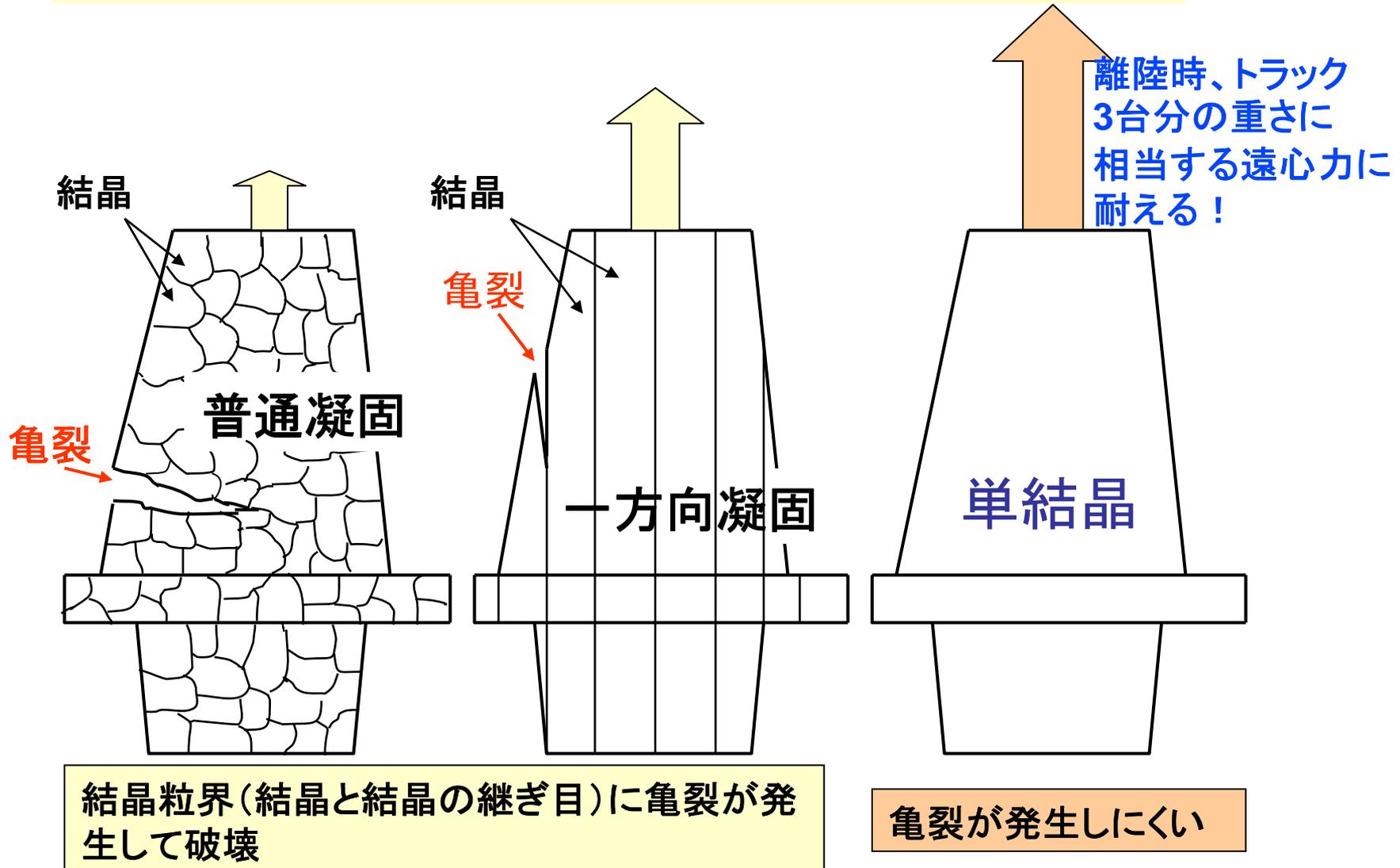
## 一方向凝固



下端を冷やしながら徐々に引き抜く

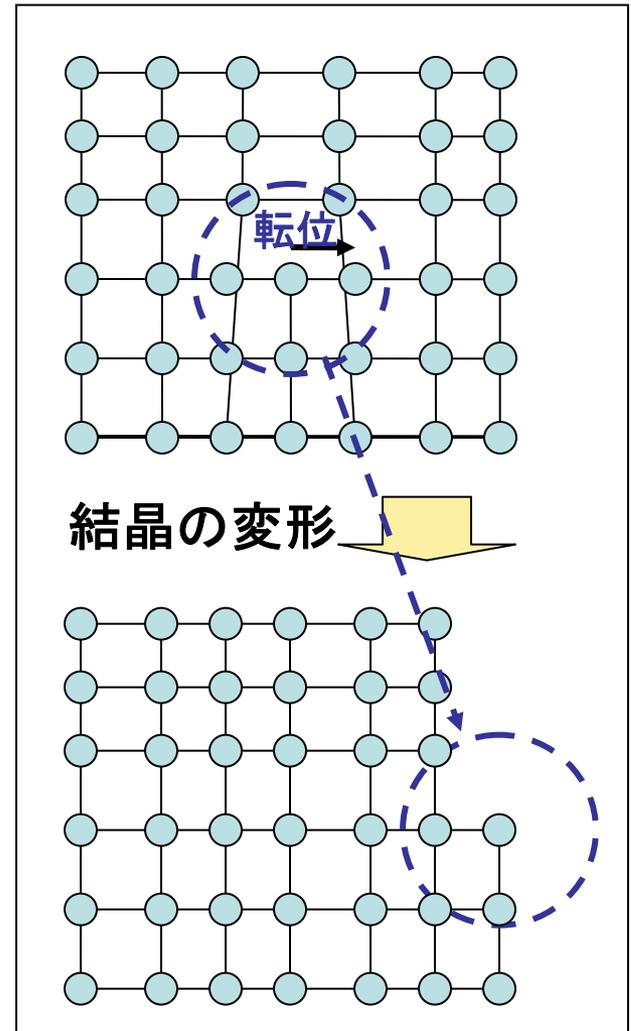
## 単結晶凝固

# 大きな遠心力に耐える 単結晶超合金タービンブレード



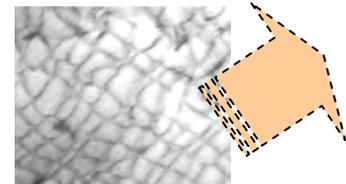
# 単結晶超合金のさらなる耐熱性向上の秘訣は

- 結晶中には、わずかな配列の乱れ(転位)がある。これが動き回ることによって結晶は変形して破断する。
- 転位が互いに絡まって網目構造になると、耐熱性が向上。網目構造が細かくなるほどさらに耐熱性が向上する。(物材機構の特許)

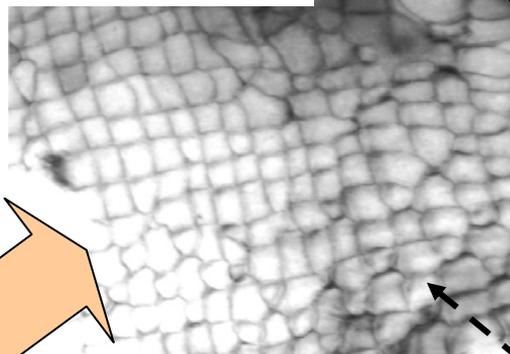
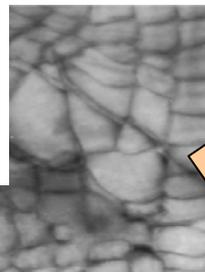


単結晶超合金のミクロ構造界面の転位網を細かくする合金設計(成分調整)で耐熱性向上

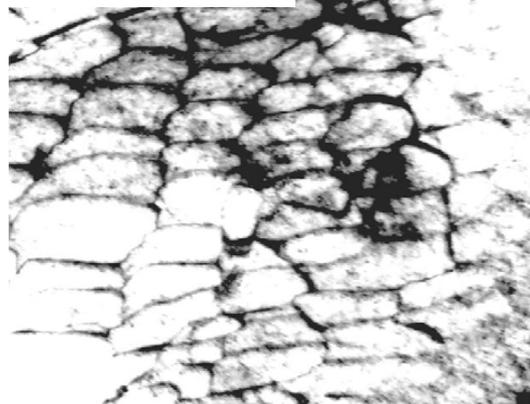
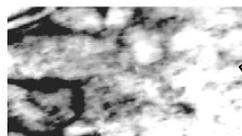
第5世代  
開発合金  
1100°C



第4世代  
開発合金  
1080°C



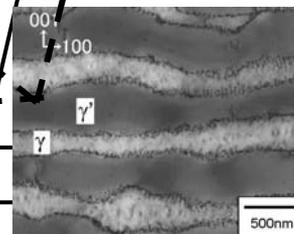
第3世代  
実用合金  
1050°C



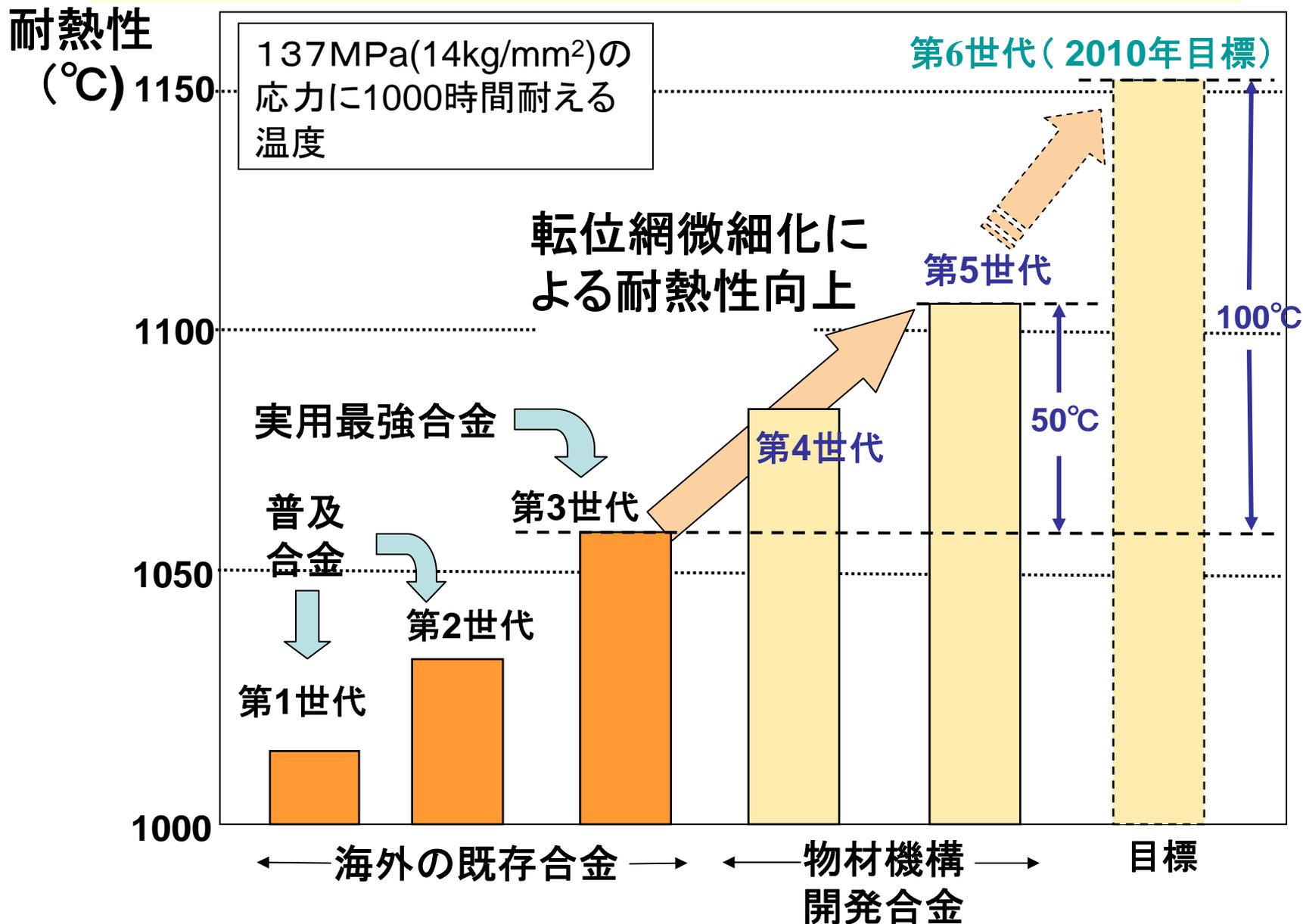
100nm

相界面の電子顕微鏡写真

単結晶超合金の  
ミクロ構造  
( $\gamma/\gamma'$ 2相構造)



# 単結晶超合金の耐熱性の向上



# 代表的なNi基単結晶超合金の組成(wt%)

世代／合金名／開発者			Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Ta	Re	Ru	比重
第1世代	PWA1480	P&W	5	10	-	4	5	1.5	12	-	-	8.70
	Rene' N4	GE	8	9	2	6	3.7	4.2	4	-	-	8.56
	CMSX-2	C-M	4.6	8	0.6	8	5.6	1	9	-	-	8.56
	TMS-6	物材機構	-	9.2	-	8.7	5.3	-	10.4	-	-	8.90
第2世代	PWA1484	P&W	10	5	2	6	5.6	-	9	3	-	8.95
	Rene' N5	GE	8	7	2	5	6.2	-	7	3	-	8.63
	CMSX-4	C-M	9	6.5	0.6	6	5.6	1	6.5	3	-	8.70
	TMS-82+	物材機構	7.8	4.9	1.9	8.7	5.3	0.5	6.0	2.4	-	8.93
第3世代	Rene' N6	GE	12.5	4.2	1.4	6	5.75	-	7.2	5.4	-	8.98
	CMSX-10	C-M	3	2	0.4	5	5.7	0.2	8	6	-	9.05
	TMS-75	物材機構	12	3	2	6	6	-	6	5	-	8.89
第4世代	PWA1497 / MX-4	P&W, GE, NASA	16.5	2.0	2.0	6.0	5.55	-	8.25	5.95	3.0	9.20
	TMS-138	物材機構	5.8	3.2	2.9	5.9	5.8	-	5.6	5.0	2.0	8.95
	TMS-138A	物材機構	5.8	3.2	2.9	5.6	5.7	-	5.6	5.8	3.6	9.01
第5世代	TMS-162	物材機構	5.8	3.0	3.9	5.8	5.8	-	5.6	4.9	6.0	9.04
	TMS-196	物材機構	5.6	4.6	2.4	5.0	5.6	-	5.6	6.4	5.0	9.01

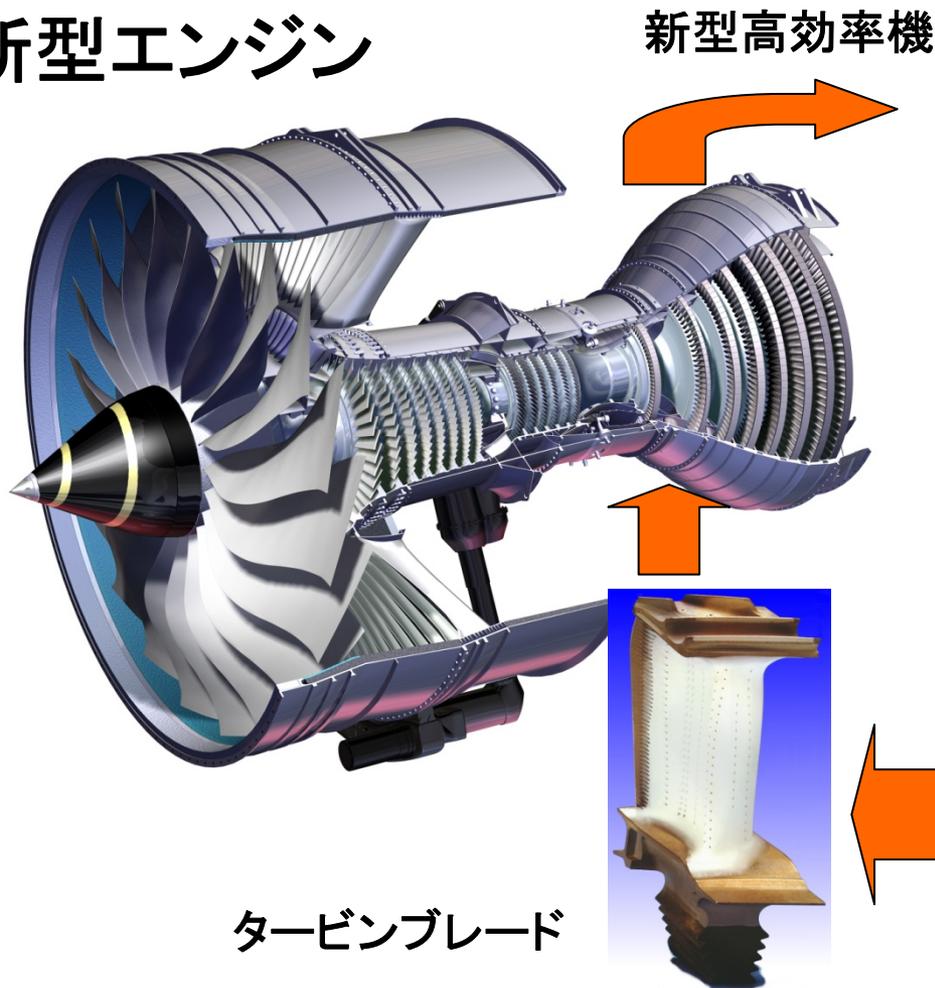
(TMS: Tokyo Meguro Single)

# ロールス・ロイス航空宇宙材料センター 2006年6月30日開設



# ロールス・ロイス航空宇宙材料センターの役割

## 新型エンジン



ボーイング787(2010年就航)



エアバス350XWB(2013年就航)



開発超合金の効果：国際線一機あたり年間1億円以上の燃料費削減、併せてCO<sub>2</sub>削減にも寄与

次世代単結晶超合金  
開発

# 我が国民間エンジンメーカーは国際共同に参画中、ただし

表 1-2-5-1 JAEC が関わっているエンジン開発プロジェクトでの担当部位

機種	V2500	CF34	B787エンジン	
			GEnx	Trent1000
推力	22~33klb (10~15トン)	14~20klb (6~9トン)	53~72klb (25~32トン)	
参画比率	23%	30%	15%	15%

(担当部位)

圧縮機	ファン/低圧圧縮機	モジュール	部品 (ファンローター)		
	中圧圧縮機				モジュール
	高圧圧縮機		部品 (動静翼)	部品 (動静翼)	
燃焼器				部品 (ケース)	モジュール
タービン	高圧タービン				
	中圧タービン				
	低圧タービン	部品 (ディスク)	モジュール	モジュール	部品 (動翼)
ギアボックス			モジュール		
補機		熱交換器・バルブ等	ポンプ・センサー等		



ほぼエンジン全体にわたり担当  
(高圧タービンが唯一、担当実績のない部位)

モジュール :モジュールで担当

部品 :部品で担当

:該当なし

(RR社の大型エンジンに特有のもの)

(JAEC: 財団法人 日本航空機エンジン協会提供)

技術的に最も高度で、ビジネス上も有利な(高温)高圧タービンは担当できない=欧米の対日技術戦略 ←自主開発が不可欠

# 三菱リージョナルジェット(MRJ)

- 初の国産民間ジェット機
- 70-90人乗り
- 燃費20%向上
- 125機受注、国も支援
- 2013年就航予定
- エンジンには米プラット & ホイトニー製



機内(実寸模型)

# ホンダビジネスジェットへの期待

- 本田宗一郎氏の遺志
- 6人乗り
- 燃費40%向上
- 機体もエンジンも国産  
(エンジンの事業化はGEホンダ社)
- 受注好調
- 米国で試験飛行中

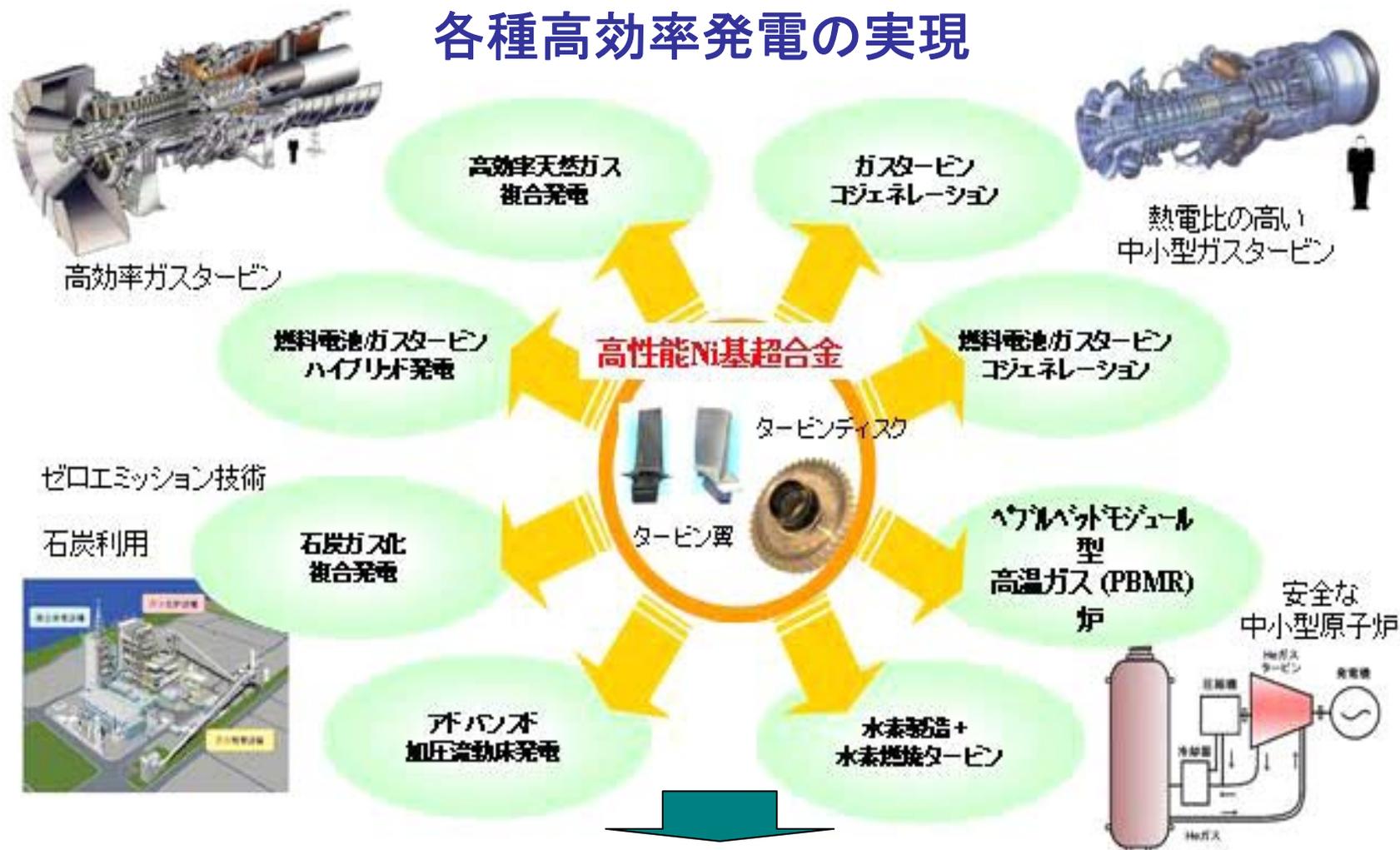
物材機構-本田技研  
共同研究実行中

ホンダジェットエンジン  
HF-118/120



# 先進発電システムへの適用

## 各種高効率発電の実現

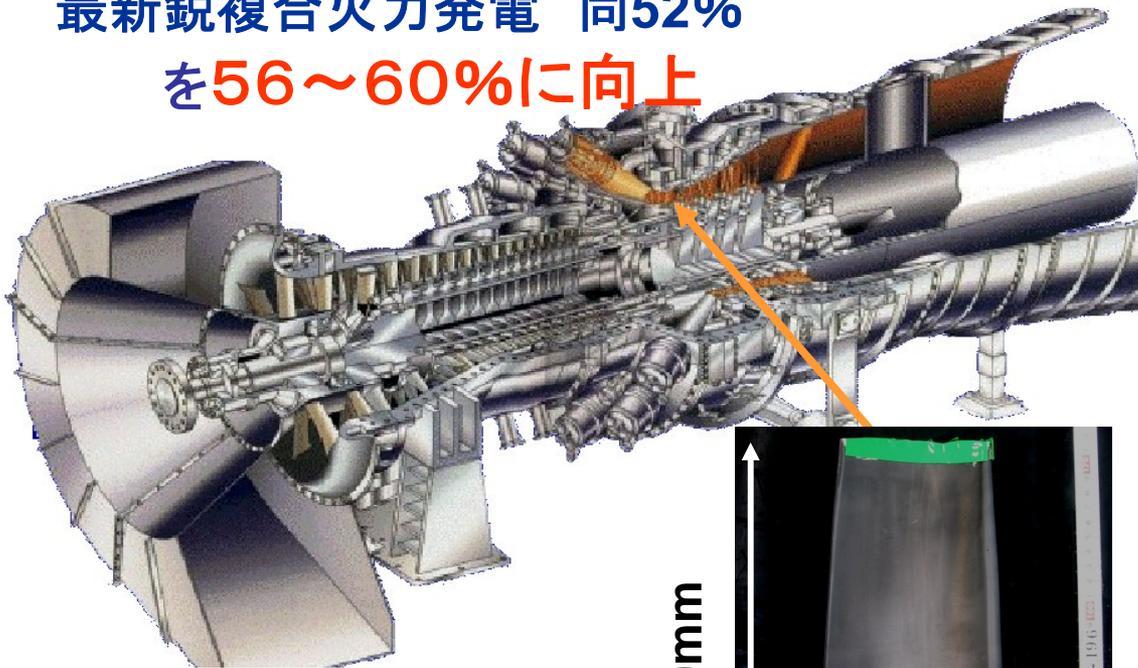


中期目標年(2020年)の発電関連のCO<sub>2</sub>大幅削減

# 大型ガスタービンへの適用

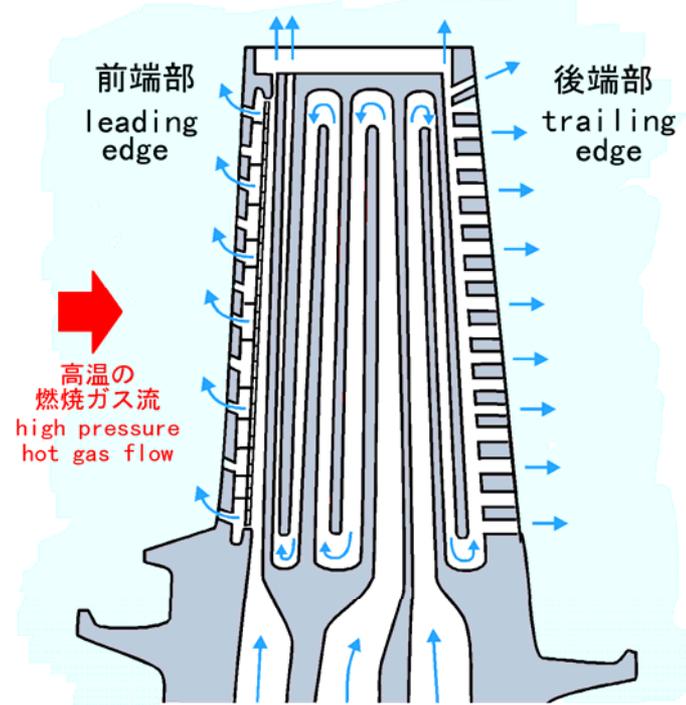
(2004年度より、文科省/資源エネルギー庁連携：  
三菱重工(高砂)と物材機構の研究協力)

石炭火力発電 熱効率 42%  
最新鋭複合火力発電 同52%  
を56~60%に向上



125-135万キロW石炭  
火力1カ所代替すること  
に国内総外出の0.4%  
削減、10カ所で4%

300mm



タービン動翼の空冷システム  
Air cooling system  
for turbine blade.

内部を冷却するとともに前面に出した空気で  
動翼外壁に沿った断熱空気層を形成する。

# 今世紀前半、我々が目指すべきものは？

