

# 6.3 研究項目③タービン 要素技術開発

株式会社 東芝

# 目次

## 6.3 研究項目③タービン要素技術開発

6.3.1 目的と開発項目

6.3.2 適用箇所と候補材料

6.3.3 開発フロー

6.3.4 材料特性試験

6.3.5 実缶回転試験

6.3.6 まとめ

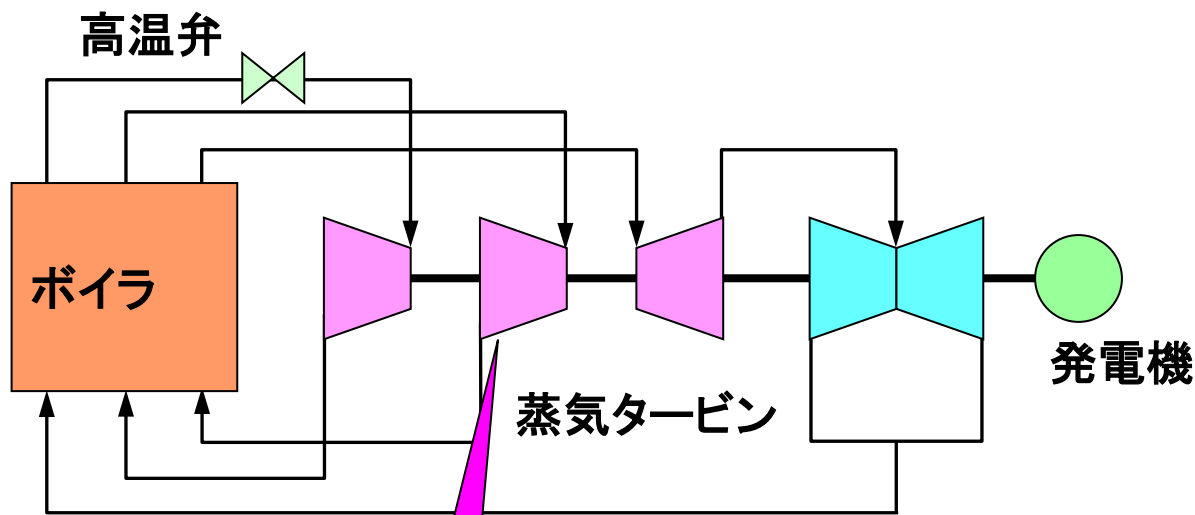
# 6.3.1 目的と開発項目

目的:タービン材料開発\*1および材料加工技術\*2の要素技術開発

注\*1) 既存材料の蒸気タービン材料への適用評価、材料の大型試作評価等を含む

\*2) 機械加工、溶接技術等

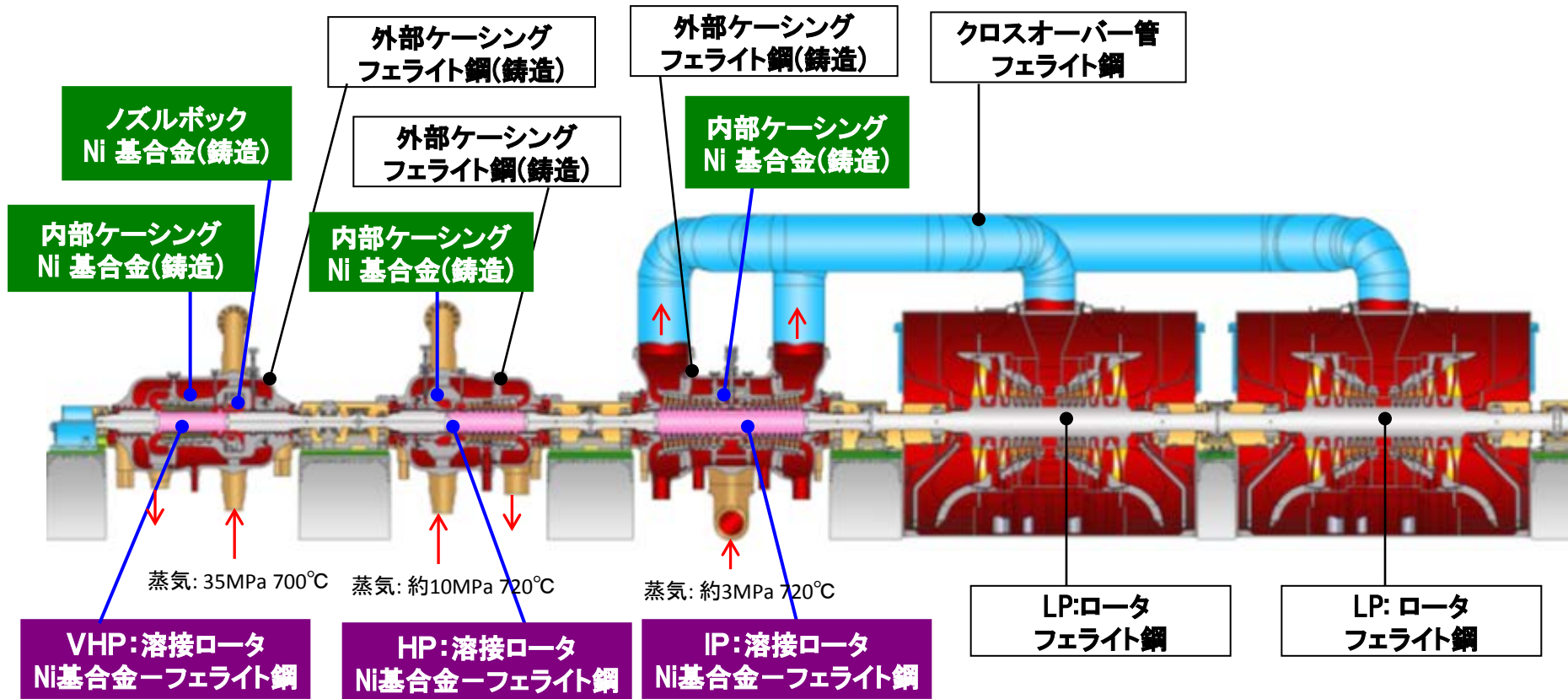
開発項目



## 蒸気タービン

- ・ロータ材料開発
- ・ケーシング材料評価
- ・翼・ノズル材料評価
- ・ボルト・ナット材料評価
- ・溶接技術

## 6.3.2 適用箇所と候補材料 1/4



注) VHP: 超高压タービン、HP: 高压タービン、IP: 中压タービン

1000MW 35MPa 700/720/720°C級蒸気タービン概念図

## 6.3.2 適用箇所と候補材料 2/4

		候補材料
ノズルボックス		Ni基鑄造合金(Alloy625、Alloy617など)
内部ケーシング		Ni基鑄造合金(Alloy625、Alloy617など)
外部ケーシング		フェライト鑄鋼
ロータ	高温部	Ni基鍛造合金(TOS1X-II*注1) [開発材]
	低温部	フェライト鍛鋼
ノズル	高温部	Ni基合金(U520など)
	低温部	フェライト鋼
羽根	高温部	Ni基合金(U520など)
	低温部	フェライト鋼
ボルト、ナット	高温部	Ni基合金(U520など)
	低温部	フェライト鋼

注1)特許登録済み (特許第5127749号)

## 6.3.2 適用箇所と候補材料 3/4

### 開発目標

- ・ 10万時間、700℃で100MPa以上のクリープ強度を持つ鍛造大型ロータ材料開発
- ・ 10万時間、700℃で80MPa以上のクリープ強度を持つ鑄造大型ケーシング材料開発

候補材料*1	用途	開発のポイント		
		重量	耐用温度	特徴
TOS1X- II (開発材)	ロータ材	30~40ton 超合金部分 10ton級	720℃ 以上	10tonクラス大型鍛造品 Alloy617からの改良 720℃クラスの温度 溶接継ぎ手強度・信頼性確保が重要
Alloy740 Alloy625 (既存材)	ケーシング材	5~10ton	700℃ 以上	ヨーロッパのプロジェクト(AD700)で 小径管試作実績有り 高強度だが、大型実績無し

## 6.3.2 適用箇所と候補材料 4/4

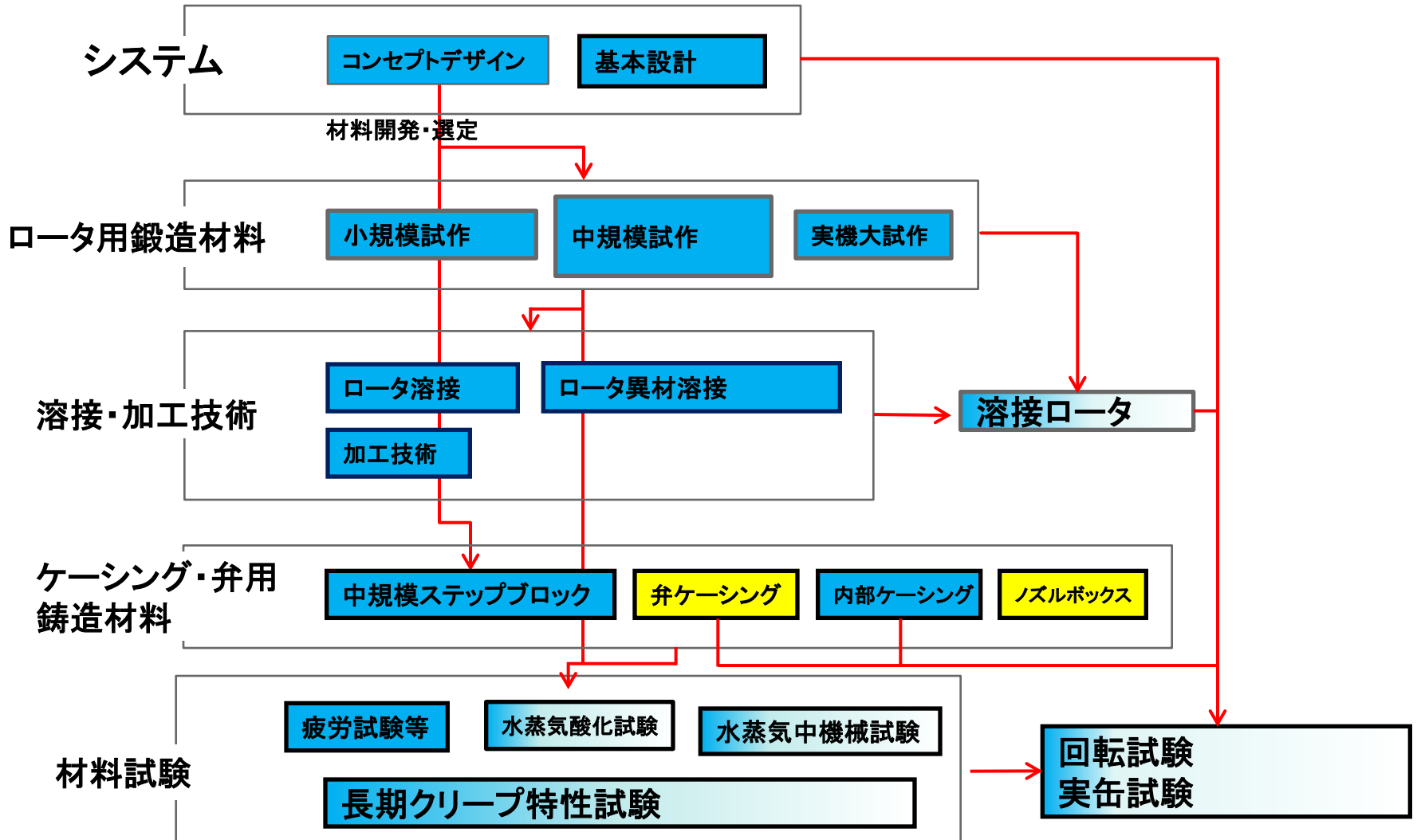
### 翼・ボルト材の検証

- ・ 特性検証(ロータ材料に準ずる)
- ・ 長時間使用時のリラクゼーション特性(ボルト材料)

候補材料	用途	開発のポイント	
		耐用温度	特徴
IN738LC	翼、ボルト材等	700°C以上	高温機器部品として実績豊富な鋳造合金
U520		700°C以上	リラクゼーション特性が現状システムと同等で設計裕度高い
M252		700°C以上	Ni基合金としては熱膨張率低く、運用性に優れる
X750		700°C以上	高温機器部品としての実績豊富

組成 質量%	Ni	Cr	Co	Mo	W	Nb	Al	Ti	Fe	Mn	Si	C	B	Zr
IN738LC	Bal.	15.7 -16.3	8-9	1.5 -2.0	2.4 -2.8	0.6 -1.1	3.2 -3.7	3.2 -3.7	0.5 max	2.0 max	0.3 max	0.09 -0.13	0.007 -0.012	0.03 -0.08
U520	Bal.	18-20	11-14	5.5 -7	0.8 -1.2	—	1.8 -2.3	2.9 -3.25	5 max	0.5 max	0.5 max	0.02 -0.06	0.004 -0.01	—
M252	Bal.	18-20	9-11	9 -10.5	—	—	0.75 -1.25	2.25 -2.75	5	0.5	0.5	0.1 -0.2	0.001 -0.01	0.02 -0.15
X750	70min	14-17	1max	9 -10.5	—	0.7 -1.2	0.4-1	2.25 -2.75	5-9	1max	0.5max	0.08max	—	—

# 6.3.3 開発フローと主要成果 1/7



説明:

完了:



実施中:

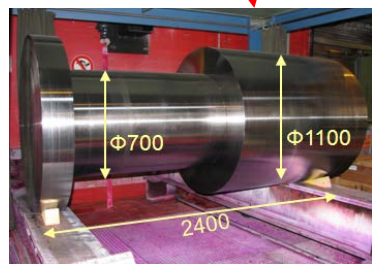
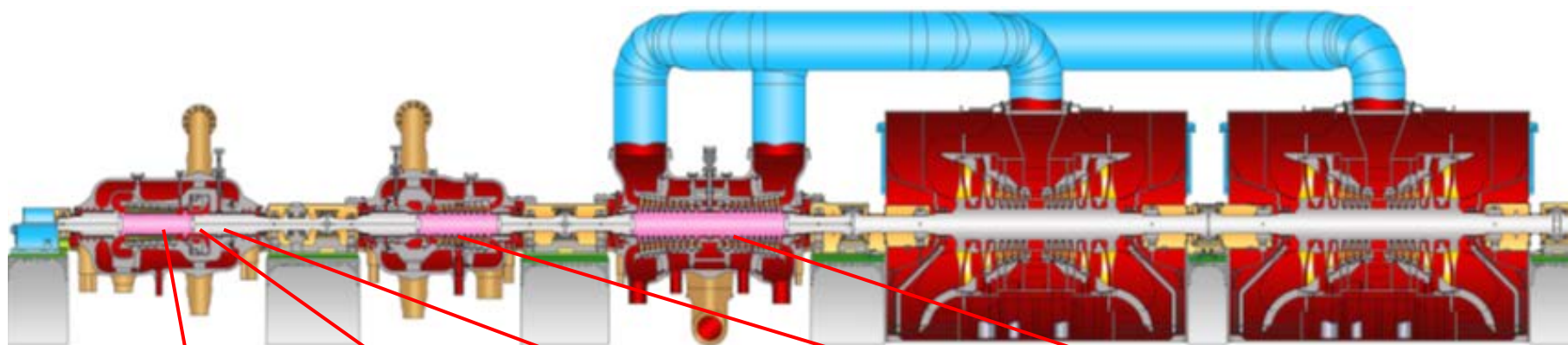


他社実施完了:

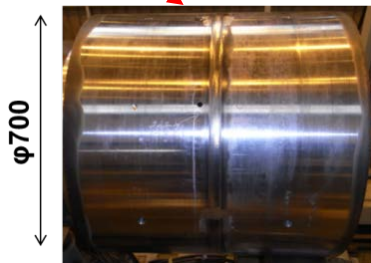




# 6.3.3 開発フローと主要成果 2/7



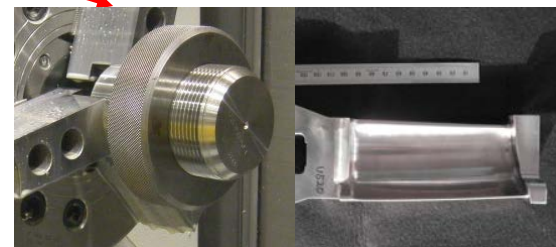
TOS1X-II ロータ試作  
重量 14ton



ロータ溶接  
モックアップ試験



Alloy625  
内部車室試作  
重量 9ton



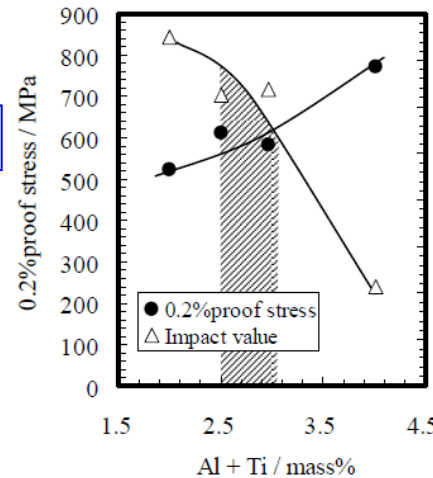
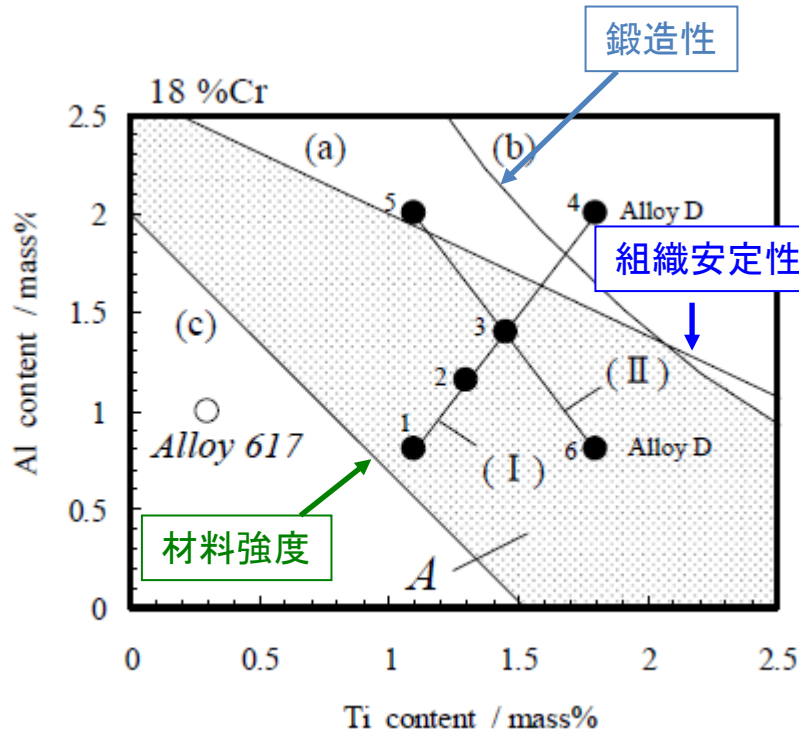
ボルト(U520)  
加工試験

Ni基材料(U520)  
羽根加工試験

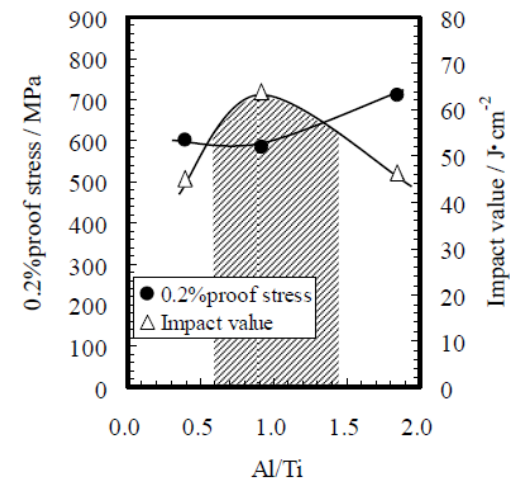
# 6.3.3 開発フローと主要成果 3/7

## ○ ロータ材TOS1X- II の材料設計

- ・ Alloy617をベースに材料強度、大型製造性、組織安定性について熱力学平衡計算の結果と小規模試作材料試験の結果を基に、最適なAlとTiの添加量を決定した。
- ・ 組織安定化のためCrを18%に低減した。



0.2%耐力および衝撃値と Al+Ti 量の関係



0.2%耐力および衝撃値と Al/Ti の関係

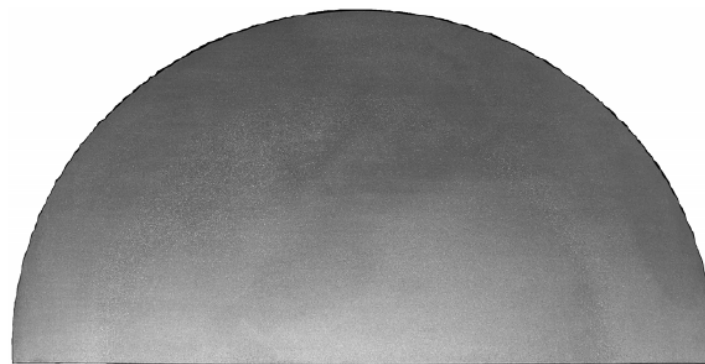
	Ni	C	Cr	Mo	Co	Al	Ti	Ta	Nb
Alloy 617	Bal.	0.1	22	9	12.5	1.1	0.3	-	-
TOS1X-2	Bal.	0.05	18	9	12.5	1.25	1.35	0.1	0.3

# 6.3.3 開発フローと主要成果 4/7

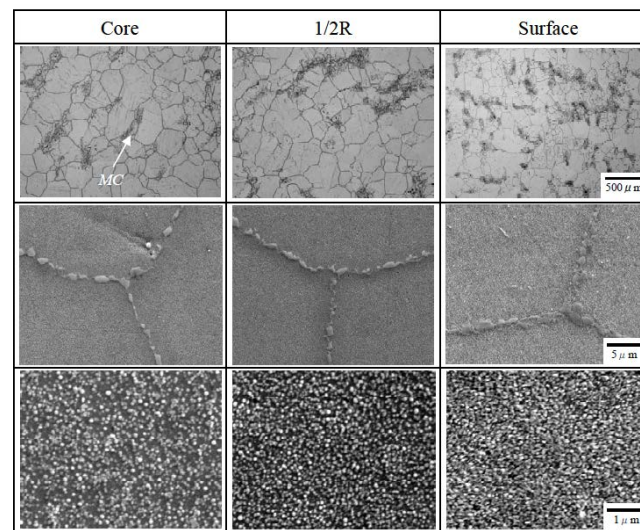
- $\Phi 1300$  重量31トンのインゴットを欠陥なく製造。
- 実機ロータの径、重量を模擬したモデルロータを試作し、非破壊検査にて無欠陥を確認。(鍛造素材重量23トン、製品重量14トン)



TOS1X-II インゴット



ロータのマクロ組織観察結果



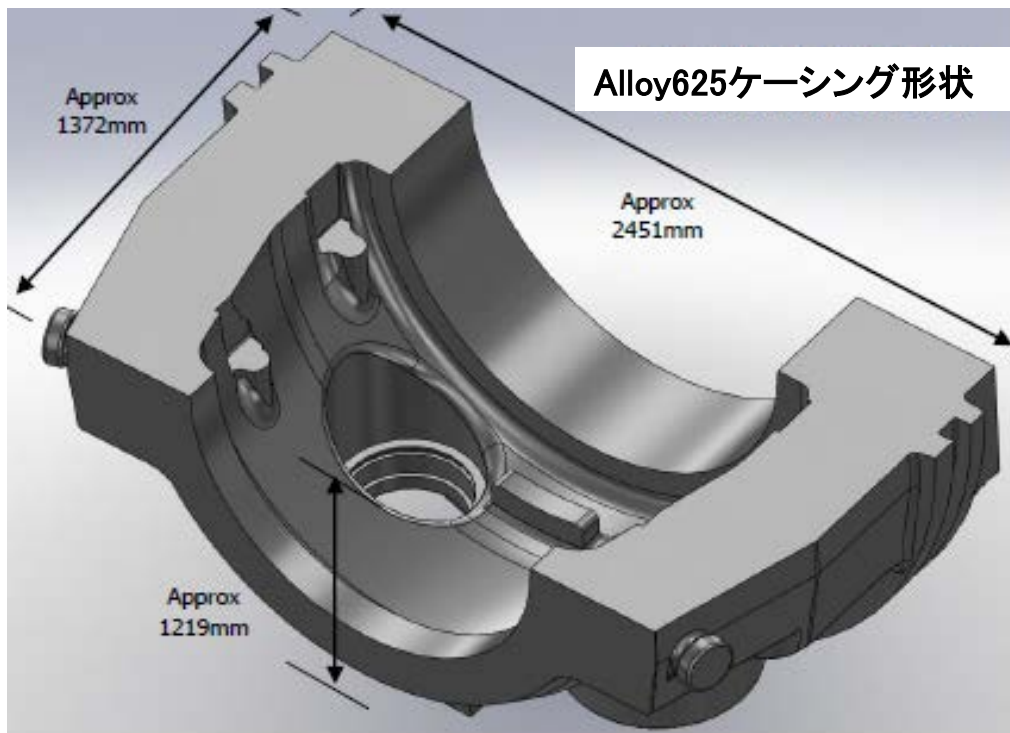
ロータのミクロ組織観察結果



TOS1X-II モデルロータ

# 6.3.3 開発フローと主要成果 5/7

○ 実サイズ(9.3t)のAlloy625製ケーシング試作

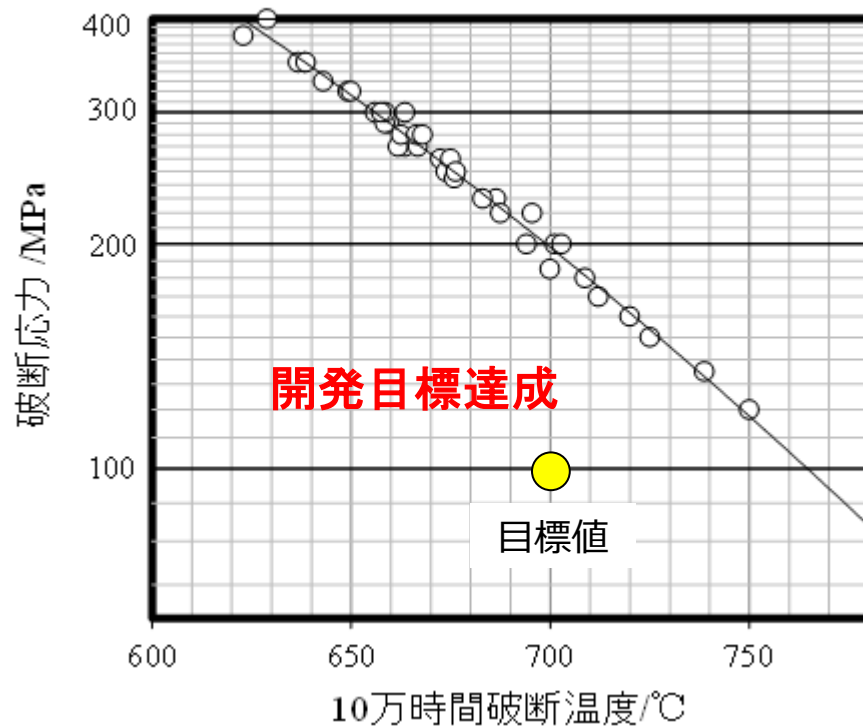


## 6.3.4 材料特性試験 2/3

### TOS1X-Ⅱ 鍛造材のクリープ試験結果



大型ロータの試作(重量:14ton)  
東芝開発材 Ni基合金TOS1X-Ⅱ \*注1)



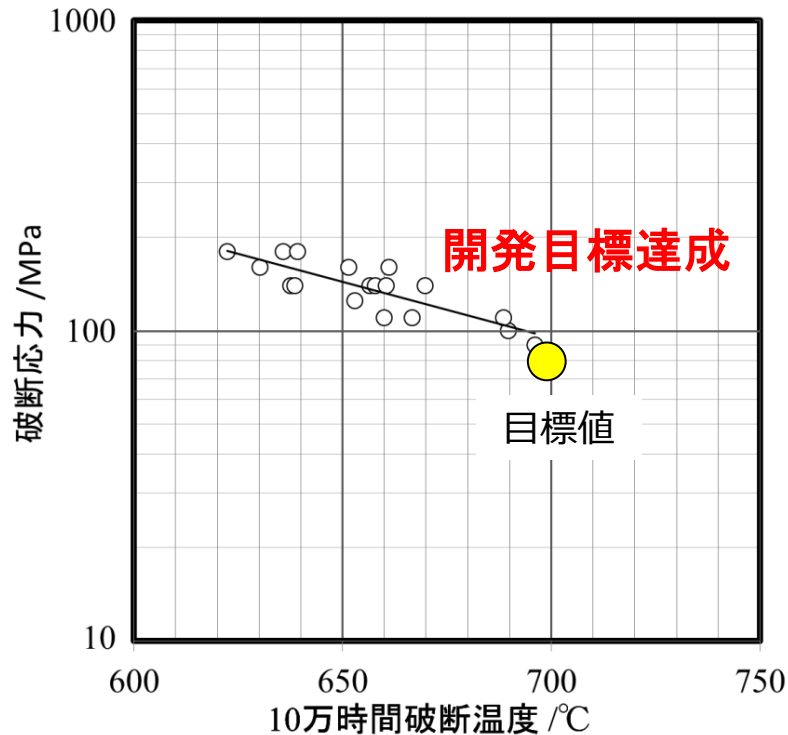
- ・小規模材で4万時間級データ、大型ロータ材で2万5千時間級データ採取、10万時間のクリープデータ採取に向けた長時間試験継続中
- ・700°C、10万時間クリープ強度は200MPa程度、開発目標達成
- ・長時間側でのクリープ強度低下は認められず

# 6.3.4 材料特性試験 3/3



大型ケーシングの試作(重量 : 9ton)  
Ni基合金IN625

## IN625 鑄造材のクリープ試験結果



- ・大型試作材でクリープデータ採取、引き続き、長時間クリープデータを採取する
- ・700°C、10万時間クリープ強度は80MPa以上の見込み、開発目標達成

## 6.3.5 実缶回転試験 2/5

### 三川発電所における実缶試験(タービンケーシング装置)



ケーシング装置外観



内部のタービン材料試験片

- ・約700°Cの高温蒸気を流すことで、ケーシング装置の健全性を確認中
- ・内部にタービン材料の試験片を設置、実缶試験終了(2016年10月末)後に水蒸気酸化試験片の評価を実施

## 6.3.6 まとめ

1. 鍛造大型ロータ材開発において、10万時間、700°Cで100MPa以上のクリープ破断強度の目標を達成できた。
2. 鋳造大型ケーシング材料開発において、10万時間、700°Cで80MPa以上のクリープ破断強度の目標を達成できた。
3. ロータ、ケーシング、翼・ボルト等の試作を行い、加工、溶接等を含め、問題なく製造できることを検証した。
4. 実缶試験用ケーシング装置を製作し、実缶試験に適用した。(実缶試験は継続中)
5. 回転試験用ロータの溶接を完了した。  
(回転試験は今後実施予定)

2017年度以降、次期プロジェクトで材料の長期材料試験を継続し、保守技術開発を実施予定。



# 6.3 研究項目③タービン 要素技術開発

三菱日立パワーシステムズ（株）

# 目次

- 6.3 研究項目③タービン要素技術開発
  - 6.3.1 目的と開発項目
  - 6.3.2 候補材料及び適用部位
  - 6.3.3 材料開発
  - 6.3.4 製造技術開発
  - 6.3.5 まとめ

## 6.3.1 目的と開発項目

高Cr鋼では600°C級USCが限界

700°C級A-USCを実現するにはNi基合金の技術開発が重要

### Ni基合金の開発課題 ~高Cr鋼と比較して

- 素材コストが高い
- 大型鋼塊製造で偏析を生じやすい
- 高温強度が高いため、鍛造し難い
- 耐力が高い材料ほど製造性が悪い
- 線膨張係数が高い



課題克服に向け  
2000年よりNi基合金  
自社開発を実施

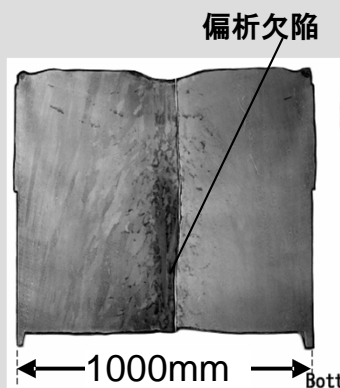


図 Ni基合金大型鍛造時の不具合例

国プロ開発目標:

- ・10万時間、700°Cで100MPa以上のクリープ強度を持つ鍛造大型ロータ材料開発
- ・10万時間、700°Cで80MPa以上のクリープ強度を持つ鑄造大型ケーシング材料開発

## 6.3.2 候補材料と適用部位

700°C級蒸気タービン実用化のため、下記候補材を開発

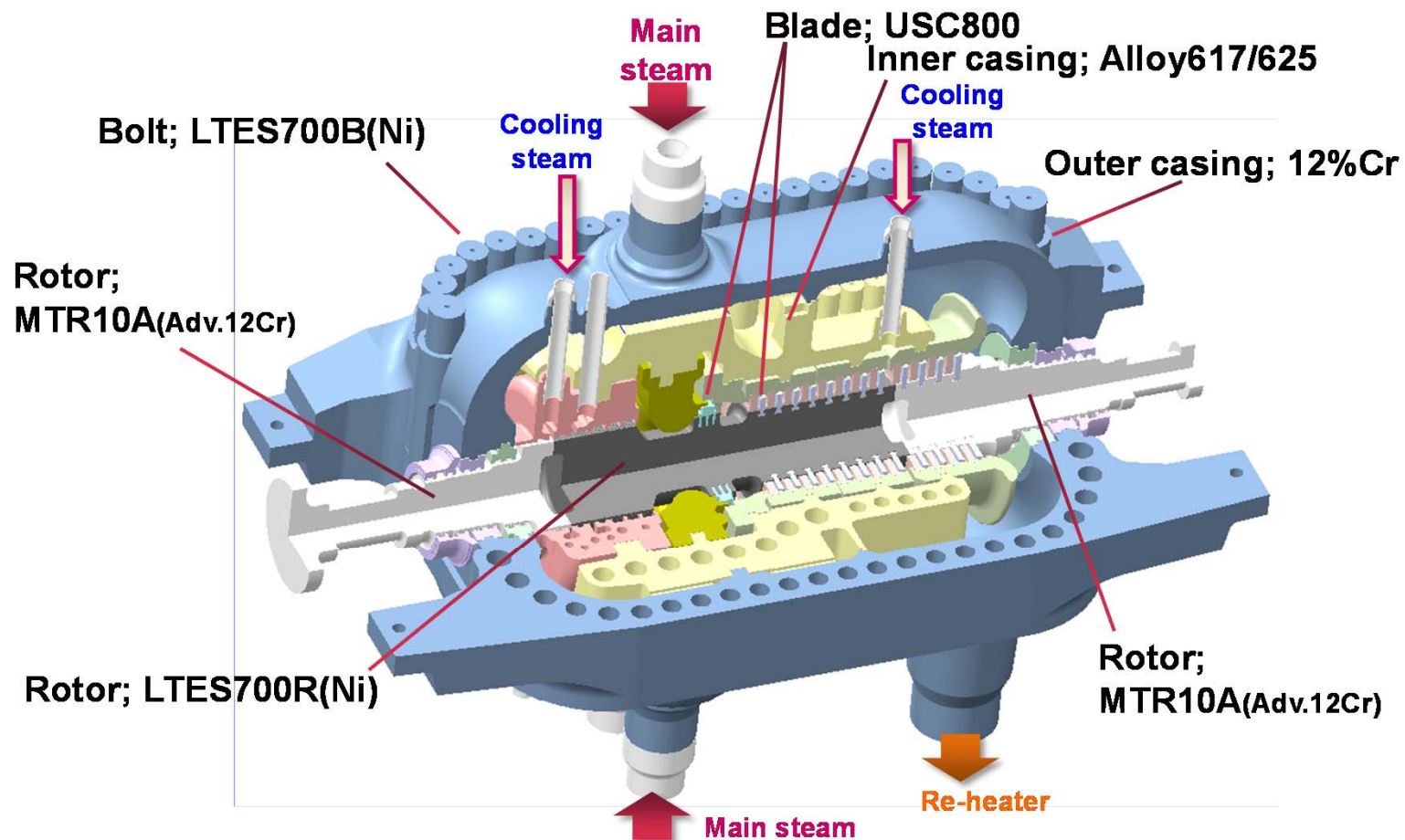
材料名	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Co	W	Nb	Al	Ti	B	Fe
FENIX700	0.01	-	-	42	16	-	-	-	2	1.3	1.7	-	Bal.
	鉄-Ni基合金であり、素材価格が一般的Ni基合金の2/3程度。 大型鍛造の製造性に優れている。ロータ候補材												
LTES700R	0.03	0.05	0.15	Bal.	12	6.2	-	7	-	1.65	0.65	0.003	-
	Ni基合金であるが、線膨張係数は高Cr鋼と同程度に抑えている。 溶接施工性に優れる。ロータ候補材。												
USC141	0.03	0.02	-	Bal.	20	10	-	-	-	1.2	1.6	0.005	-
	700°C、10万時間で180MPa程度の高温クリープ強度を持つ。 タービン翼材、ボルト材、ボイラ伝熱管候補材。												
USC800	0.04	-	-	Bal.	17	6	23	2	-	4	-	0.003	-
	Ni基合金の高強度化と熱間鍛造性を両立した材料。 700°C、10万時間で270MPa程度の高温クリープ強度を持つ。 タービン翼材、ボルト材、ボイラ伝熱管、大径管候補材。												

## 6.3.2 候補材料と適用部位

700°C級超高压タービンへの候補材料の適用部位を示す

### < Candidate Materials >

### VHP Turbine Cross Section



# 6.3.3 材料開発 一口夕材 LTES700R

## 実機大製造試作を経て、回転試験一口夕材製造実施

- 1次溶解 VIM電極複数本製造
- 1st ESR 複数電極を再溶解し1本化
- 電極鍛造
- 2nd ESR 鋼塊鍛造
- 鍛造（据込、鍛伸）
- 溶体化処理



図 鍛造製造(据込)

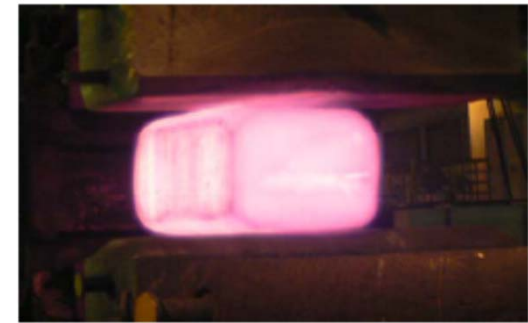
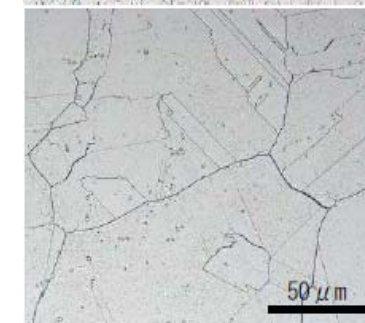
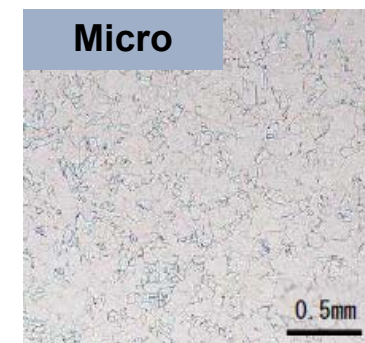
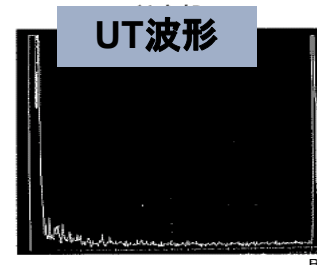
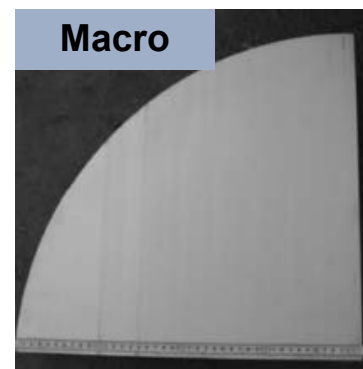


図 鍛造製造(鍛伸)

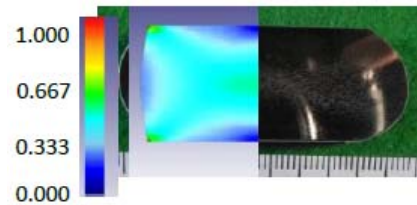


# 6.3.3 材料開発 翼材

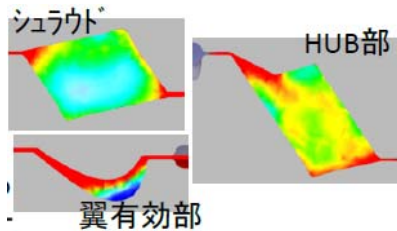
USC141及びUSC800の丸棒素材から鍛造・切削製造により、製造コスト低減計る  
GT素材U520よりも熱間加工性が良く、製造歩留まり良好

丸棒材から翼鍛造過程

① 掘込鍛造	
② 多段鍛伸	
③ 切断 (高速切断機)	
④ 型打ち (荒)仕上	
熱処理	



実験とシミュレーションの照合



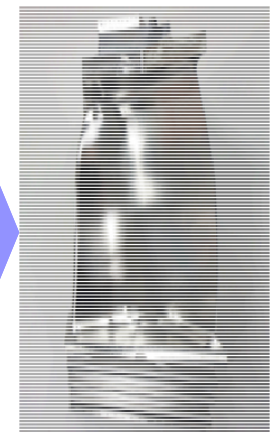
実翼鍛造の組織予測



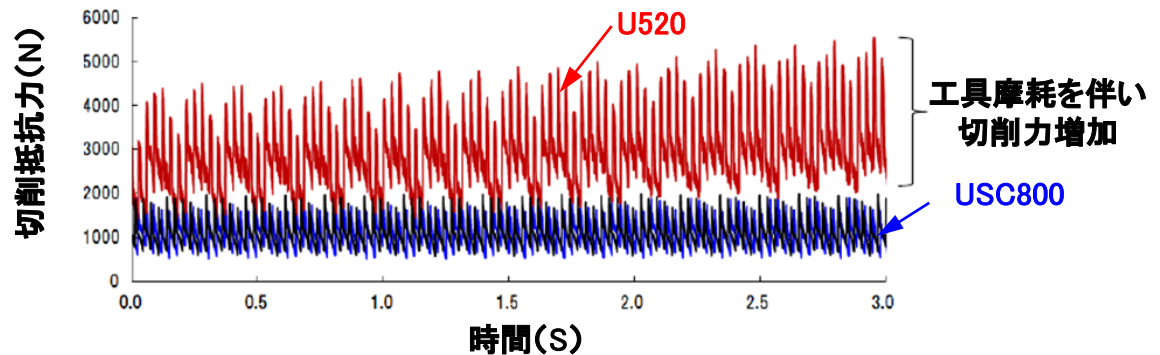
素材型打ち



素材形状制御



3D切削



U520とUSC800の切削性比較

## 6.3.3 材料開発 鋳造材

富士電機殿設計高温バルブ実機大ケーシング試作@voestalpine  
実機大ノズルボックス試作@voestalpine, Goodwin



Casing Material – Alloy617, Alloy625 –



# 6.3.4 製造技術開発 溶接技術

Φ800の溶接モックアップ実施、長時間クリープ試験継続中

共材継手  
モックアップロータ

試験項目	共材継手
金属組織	●
側曲げ	●
引張/衝撃	●
高サイクル疲労	●
疲労き裂進展	●
破壊靱性	●
クリープ破断	○(継続中)
長時間加熱	○(継続中)

異材継手  
モックアップロータ

試験項目	異材継手
金属組織	●
側曲げ	●
引張/衝撃	●
高サイクル疲労	●
疲労き裂進展	●
破壊靱性	●
クリープ破断	○(継続中)
長時間加熱	○(継続中)

## 6.3.5 まとめ

700°C級タービン要素試験及び開発を行い下記を達成した。

- ✓ タービンロータ候補材:LTES700Rを開発し、700°Cで10万 時間、100MPa以上のクリープ強度達成見込みを得た。
- ✓ LTES700Rと既開発MTR10A(高Cr鋼)の異材溶接技術を開発し、実用化に耐えうるクリープ強度を有することを確認した。
- ✓ タービン動翼鍛造材として、USC141及びUSC800を開発し、実用化に耐えうる機械特性及び製造性を確認した。
- ✓ タービン鑄造材として、IN617及びIN625の大型モックアップ製造及びクリープ強度計測結果から700°Cで10万時間、80MPa以上のクリープ強度達成見込みを得た。