

## 異方性カスタム航空・エネルギー部材製品の研究開発について

野村 嘉道<sup>1)</sup> 井頭 賢一郎<sup>2)</sup>

\* 川崎重工業株式会社技術開発本部技術研究所材料研究部；1)課長 2)部長(〒673-8666 明石市川崎町 1-1)  
Research and Development on Customized Anisotropic Components for Aerospace and Energy systems; Kenichiroh Igashira and Yoshimichi Nomura (Material Research Department, Technical Institute, Corporate Technology Division, Kawasaki Heavy Industries, Ltd., Akashi)

**Keywords:** *gasturbine, turbine blade, AM(Additive Manufacturing), cogeneration, anisotropy*

2015年6月5日受理[doi:10.2320/materia.54.511]

### 1. はじめに

#### (1) ガスタービン高性能化のニーズ

蒸気と電力を供給するシステムとして、図1に示す通り、ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムは電気と熱を同時に供給できる非常に効率の良いエネルギー供給機器の1つであり、採用が広まりつつある。実際、日本の電源構成としては、2030年にはガスタービンコージェネレーションの割合は、現状から数倍の伸びが予想されており<sup>1)</sup>、今後のエネルギー供給源として大きな期待が寄せられている。

そこで、コージェネ用ガスタービンを設計・製造している国内外メーカー各社では、お客様の燃料使用量低減を差別化要素として、ガスタービンの市場獲得のため、発電効率向上に対し、積極的な技術開発に取り組んでいる。このような状況の中、中小型ガスタービンを設計・製造している当社においても、様々な方法で積極的に発電効率向上に向けた技術開発を進めている。

当社が得意としているクラスのガスタービン単独での発電効率は30~40%程度であり、1ポイントの効率改善で、年間の燃料代が数千万円削減できるため、発電効率は機器選定における重要なファクターとなっている。

#### (2) ガスタービンの上流設計

ガスタービンエンジンは、圧縮機で圧縮した空気に天然ガスなどの燃料を混ぜ、燃焼させることで得る燃焼ガスの膨張エネルギーでタービンを回し、これを発電動力とするための内燃機である(図2)。そのため、タービン翼には高温の燃焼ガスを受け止められる耐熱性と、これを効率的に回転力に変換するための空力設計が、エンジン効率を向上する上で、非常に重要である。

空力設計とは、タービン翼の外形形状で設計技術であり、CFD(Computational Fluid Dynamics)解析などを駆使して決定する。

耐熱性は、適用する材料と翼内部冷却空気通路の設計で決

定する。

材料については、要求される耐久性(クリープ、疲労、腐食)に適合するよう、合金種の選定だけでなく、特定の組織形態や結晶構造(方向性凝固や単結晶化といった異方性の積極導入)を決定する<sup>2)</sup>。

翼内部冷却空気通路の設計では、少ない冷却用空気で効率良くタービン翼を冷却するための空気通路のパターンや流路面の凹凸形状を、構造強度も考慮し決定する。

そのため、例えば空力性能向上を目的に外形形状が変化すれば、燃焼ガスによる翼面の温度分布が変化するため、内部の冷却空気通路を、冷却性能および材料強度の観点から適性化することになる。

### 2. 革新的異方性カスタム化タービン翼の開発課題

上記の過程で設計されたタービン翼の生産には、現在一般的には精密鋳造法が適用される。その際の生産性は、複雑な内部冷却空気通路を含む形状に大きく影響を受ける。鋳造解析やこれまでの経験から、不良率が許容できないレベルになることが予測された場合には、設計変更を要求することになるが、性能面での妥協を余儀なくされる場合が少なくない。

この点において、造形面での自由度が高い金属粉末三次元積層造形法(付加製造(AM)法)に期待するところは大きいですが、最新の高性能タービン翼に必須技術となっている異方性の積極導入(組織、結晶制御)に対し、開発の余地が残されている。

すなわち、組織や結晶学的な異方性の導入がAMで実現できれば、タービン翼の設計・生産技術が大きく進化し、タービン性能の飛躍的な向上が期待できる。

本プログラムでは、AMでの生産を前提としたタービン翼設計に、異方性カスタム化の概念である“傾斜化多結晶組織”と“高次結晶制御”を組み込み、さらなるタービン翼の高性能化を目指している(図3)。

本プログラムでの実現を目指す“傾斜化多結晶組織”とは、設計上疲労強度が支配的な領域には微細結晶組織を、同じく

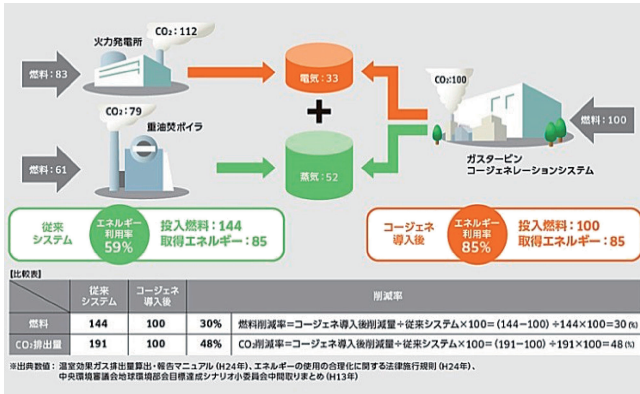


図1 コージェネシステムの長所(出典：当社 HP)。

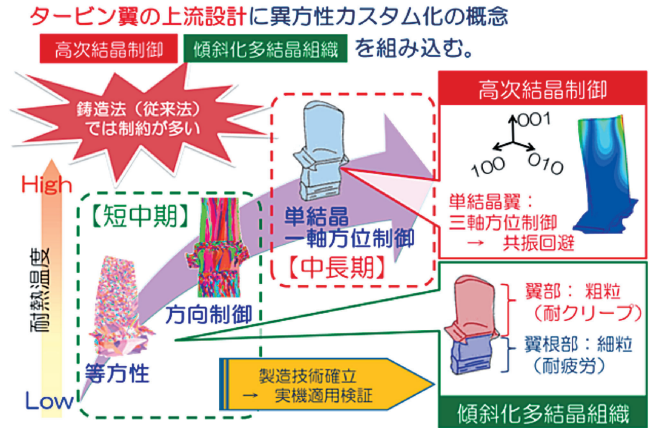


図3 革新的異方性カスタム化タービン翼のイメージ。

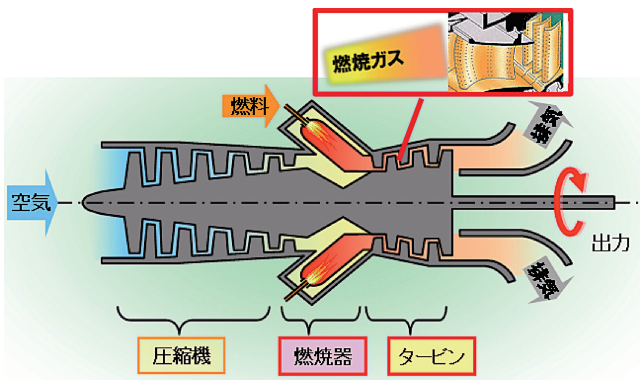


図2 ガスタービンの構造概略図。

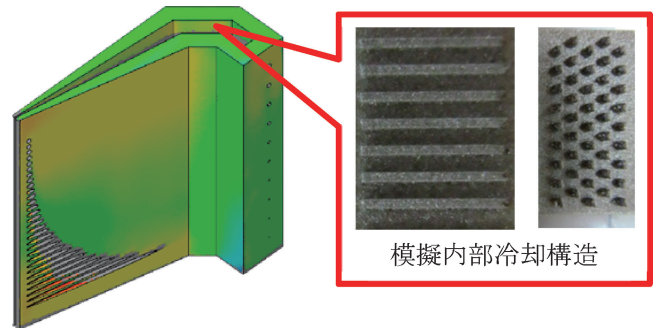


図4 金属粉末三次元積層造形技術の形状評価。

高温クリープ特性が支配的な領域には粗大結晶組織を選択的に形成させるといった概念であり、短中期的な開発案件として取り組む。

さらに、“高次結晶制御”では、上記粗大結晶組織を進展させ、より高いクリープ耐性が期待できる方向性凝固組織化を目指すとともに、タービン翼として究極的な構造である単結晶化についても、その実現可能性を見極めたいと考えている。

### 3. 革新的異方性カスタム化タービン翼の開発状況

上記の課題に対し、“複雑な内部構造(形状)”と“異方性(材質)”双方の実現を目指すべく、その初期段階検討として、金属粉末三次元積層造形技術を用いた“模擬翼の形状精度評価”、“異方性の比較対象としての非異方性材料の強度評価”に取り組んでいる。

図4は、一般的な冷却構造要素を盛り込んだ模擬翼を最新のAM技術で造形した例である。

一部、小さなサイズの起伏構造部については造形精度に課題が残るが、比較的多用されるサイズの起伏構造については、要求精度を満足する造形結果を得ている。

## 4. おわりに

航空・エネルギー部材においても、異方性カスタム化が実現できれば、超上流設計最適設計機能と一体化した一気通貫設計製造システムが具体化出来、異方性付与による機能向上と製造コストの低減が期待できると考えている。

## 文献

- (1) 一般財団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センター：コージェネレーションパンフレット ([http://www.ace.or.jp/web/publication/pdf/2013\\_Cogene\\_Pamphlet.pdf](http://www.ace.or.jp/web/publication/pdf/2013_Cogene_Pamphlet.pdf))
- (2) 公益社団法人日本ガスタービン学会：ガスタービン工学、(2013)。