

TODAY

研究開発のマネージメント

JFEスチール株式会社
専務執行役員 スチール研究所長

影 近 博

オルフェウス室内管弦樂團をご存じの方も多
ことだろう。世界で唯一「指揮者のいないオーケ
ストラ」として知られ、1972年の創立以来、リハ
ーサルから演奏、レコーディングまでを一貫して
指揮者無しで行ってきた唯一の楽団である。オル
フェウス室内管弦樂團がなぜ有名かという、そ
のユニークな意思決定ノウハウ「マルチ・リーダ
ーシップ・マネジメント」が、社員の才能や意欲
を最大限に引き出す有力なプロセスとして企業経
営者に対し多くの示唆を与えているからである。

オルフェウス・プロセスにはいくつかの原則が
ある。その中で最も特徴的なのは、「リーダーを
固定しない」というものである。オルフェウスで
はすべてのメンバーは、何らかの形でリーダーの
役割を務めるよう奨励される。リーダーとそれに
従う人々の間には常に流動性があり固定しない。
現在、企業では目標や方針を決定する際、一般社
員が発言権をもつことは少ない。強力な指揮権を
行使すると逆に部下のコミット意識が薄れ士気が
低下する。オルフェウスでは「組織の創造的な潜
在能力を十分発揮できるのは、メンバーに重大な
意思決定する権限を与えた場合だけ」と考える。
誰もがリーダーになる可能性があり、またそれを
経験すると、指揮者(リーダー)の指導力に頼るの

ではなくメンバーに積極的な参加意識が芽生え
る。研究開発の現場に置き換えると、研究計画の
立案に際して自分の考えを聞かれないのでは、研
究員は自分の仕事に対して「オーナーシップ意識」
をもつことはできない。そこから先進的アイデア
も画期的ブレークスルー技術も生まれようがない
というわけだ。

もう一つは、「チームワークをうまく進めるた
めにコミュニケーション能力を磨く」ことである。
オルフェウスでは、メンバー全員が練習中に意見
を戦わせるなど、メンバーの音楽上のアイデアや
技能を十二分に活用するよう努めている。双方向
の情報伝達、意思疎通がうまくいかないとオルフ
ェウス・プロセスが機能しない。個人には自発的
に人の話を聞き、自分の意見を人に伝える能力が
求められている。

企業に限らず研究開発は研究者の個人的な能力
と意欲に依存するところが多い。如何に一人ひと
りの研究者が活性化するか、それを決めるのは組
織マネージメントである。国際的競争激化の中で
企業は変化に迅速に対応する必要がある。研究開
発にも俊敏さが要求される。重要な情報を一部の
リーダーが占有する従来の縦型の組織運営ではそ
れは難しい。むしろ部署間の境界を越えた連携、
チームワークが必要だ。そしてリーダーからの一
方的な指示のもとで研究を遂行しては真の先
進技術を生み出すことはできない。研究の効率も
上がらない。技術立国、技術立社を目指すとき、
磨き上げられた専門性と自己責任の精神を具備し
た研究者と、「オルフェウス・プロセス」に示唆さ
れる正しい意味の組織マネージメントの両方が備
わって最高の研究開発が可能となるであろう。

「高温タービンディスク製造技術開発に関する先導調査」調査報告

非鉄材料研究部 有我誠芳

1 はじめに

この報告は(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務として実施した「高温タービンディスク製造技術開発に関する先導調査」の概要をまとめたものです。

この先導調査は、新規に開発された耐熱合金を航空機エンジン等に使用される高温タービンディスク部材として使用するための製造技術開発をプロジェクト化する場合の課題や目標設定、プロセス開発の実施方法・実施体制・所要資源等基本計画立案のベースとなる諸要素を明確化することを目的として、エンジンメーカー、材料メーカー、航空会社、研究機関の方々に委員会にご参加・討議いただきました。

また、委員会での討議と並行して、プロセス開発に関する課題の抽出を行うため、(独)物質・材料研究機構(NIMS)で開発された超高温耐熱材料の鑄造鍛造評価試験を実施しました。

2 調査の概要

1)航空機エンジン産業の動向

今世紀はじめの米国同時多発テロ事件やSARSのため、一時落ち込んでいた世界の航空旅客数の伸びは今後年率5%前後の成長が期待され、2004年からの20年間に25,000機程度の新規機体需要が見込まれています。近年「運用コストの削減」、「環境対策」+「安全性/信頼性」という課題を中心に技術開発、エンジン開発が展開され、エンジンの燃費改善が重要視されています。

エンジンメーカーは開発にかかる膨大な

開発費を単独で負担するリスクを回避するため、Risk and Revenue Share Partner方式を導入し、世界中からパートナーを募ってエンジン各部の設計・製造・開発試験を分担することが多くなっています。エンジンメーカー自身はマーケティング、エンジン全体構想、概念設計、基本設計、材料選定を担当し、パートナーにはモジュールや部品の詳細な設計、製造、開発試験等を任せるといった役割分担です。主要エンジンメーカーは自社の地位確保のため、技術的にもレベルの高いキーテクノロジーであるとともに、アフターマーケットでの重要な収入源である、エンジンの高圧部や高温部を自社の担当部としています。

またエンジンメーカーが、モジュールや部品の分担を共同開発のパートナーに任せるといった場合には、自社自身のスリム化及び調達システムの合理化のため、サプライチェーンという考え方を導入し、調達先の材料メーカーや部品メーカーの数を極力減らして安定供給とコストダウンを図っています。このため材料メーカーは新規に参入しにくい構造になっており、日本のエンジンメーカーが共同開発で部品の設計・製造をする場合でも、独自に材料メーカーを選択することには障害があるのが現状です。

海外エンジンメーカーと特定の材料メーカーが、長年積み上げてきたノウハウを独占しており、材料スペックとして表に出てくるものはごく一部です。このため材料に関する熱処理、検査技術、その背景にある技術的根拠については見えてこないことが多く、特に軍用の

戦闘機用エンジンに使用される場合、機体の運動性能にかかわる推力重量比に大きく影響する高温タービン材料は重要な国家戦略技術として扱われ、その情報は国外に公開されにくい状況にあります。

2)航空機エンジン用高温耐熱材料

高圧タービンディスクは直接燃焼ガスに触れないので、ブレードやノズルほど厳しい環境にはありませんが、高温に加熱されたブレードと直結しているため、耐熱設計が必要です。外周部は高温のブレードと近いためクリープ強度が要求されるのに対し、内周部は、遠心力による低サイクル疲労(LCF)が問題となります(図-1~3)。

製造上の不具合から生じるディスクの内部欠陥や、疲労から生じる亀裂が、その後どの程度の速度で拡大するのかを判断するため、部材の亀裂進展特性を把握する必要があります。

タービンディスクは、その破断が航空機に壊滅的なダメージを与える恐れがあるため、高い信頼性が要求され、Life Limited Partsとして指定されています。航空機エンジンの高圧タービンではブレード、ノズル、シュラウドは、メンテナンス時にその状態に応じて修理・交換を行えるのに対し、ディスクの場合、航空当局に許可されたサイクル数使用されたものは、その状態如何にかかわらず廃却しなければなりません。

3)航空機エンジン用高温耐熱材料の開発状況

高圧タービン翼材料の高温クリープ強度向上は、燃料消費率(SFC)の低減に大

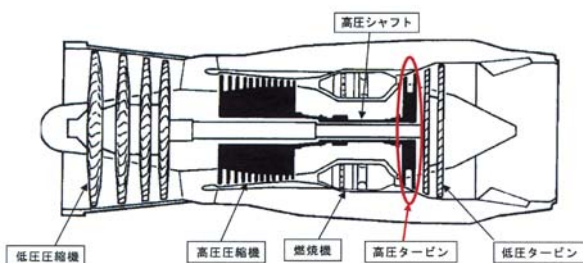


図-1 ターボジェットエンジン

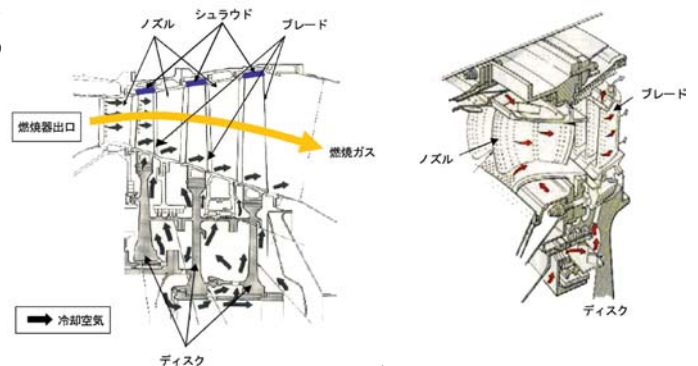


図-2 タービン詳細

はいまだ国内で確立できていないのが現状です。国内での溶解、ピレットティング技術の確立が今後の課題となっています。

(2) 国産エンジンへのPM材の適用動向と問題点

PM材に関しては、旧通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度による「超音速輸送機用推進システムの研究開発(HYPER)」において、国内素材メーカーで製造したAF115 PM材を1/3スケールのターボジェットエンジンに搭載し、地上実証試験に成功した例があり、それに続く「環境適合型次世代超音速推進システムの研究開発(ESPR)」においては、N18 PM材を高圧コアエンジンに搭載し、15分程度ですがTIT 1650 の地上実証試験に成功しました。PM材は粉末表面の汚染や介在物の混入した場合、低サイクル疲労が低下する問題があり、信頼性を向上させるために粉末をアルゴン等の保護雰囲気及び真空下で取り扱うとともに、介在物サイズを小さくするため、粉末の微粉化が求められるので、特殊な設備や技術が必要となります。従って、PM材に対する国内ニーズがほとんどなく、また欧米エンジンメーカーが欲するような材料がない状況では、国内メーカーが設備や技術を維持することは難しく、現在、国内でPM材を生産できるメーカーはありません。また、N18 PM材に関しても、国内生産ができないことからコストが高く、安定供給の点も懸念が残ります。

(3) 高圧タービンディスク材料の日本における開発動向

日本におけるディスク材の開発は、旧通商産業省工業技術院の次世代産業基盤技術研究開発制度による「高性能結晶制御合金の研究開発」において、金属材料研究所(現NIMS)でRene95をモデルに、相体積率を変化させ改良した例が1980年代にあります。それ以降目立った成果はありませんでした。

しかし最近、NIMSにおいて、Ni基超合金を同じく相/相を有するCo-Co₃Ti合金と組み合わせることにより、高強度でかつ鍛造性もよいNi-Co基合金が開発されました。この合金はC&W材で最も耐用温度の高いレベルであるU720LIに比べ約50 耐用温度が高く、最新のPM

材であるME3に匹敵する耐用温度を有しています。タービンディスクが、PM材の4分の1以下のコストであるC&W材で製造できる可能性をもったものです。欧米エンジンメーカーもこの合金に着目し、NIMSに対しディスク材の共同研究開発の申し入れがはじめています。本先導調査研究では、この合金を試作評価しました。

7) ディスク用超耐熱材料に要求される条件

航空機用エンジンは、その推力の大小にかかわらず、低燃費(高効率)かつ高信頼であることが求められます。近年では、エンジンのさらなる軽量化、低燃費化を図るため、圧縮機出口圧力の上昇とともに、タービン入口温度(TIT)を高温化する傾向にあります。その実現のためには、タービン材料のさらなる耐熱性向上が必要不可欠となっています。タービン翼材料としては、Reが3%程度添加された第2世代の単結晶翼(SC)が採用されはじめています。今後も第3世代SC材(Re 5~6%添加)の採用等、さらなるTITの高温化が図られる方向にあります。これらのタービン翼の採用に伴い、タービンディスク材の使用温度も年々上昇する傾向にあります。

特にリム部における温度条件が厳しく、材料のクリープ特性が設計におけるキー特性となっています。高温ディスク用合金Udimet720の場合、600 程度に

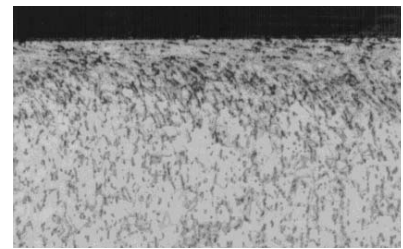


図-6 切削加工で生じる加工変質層

抑える必要があり、これ以上の高温化に対しては、Rene88DTやN18等の粉末プロセス材に頼ることになりますが、異物混入防止のための高度な品質管理が必要となりエンジンがコスト高となります。よって、ディスク材は、現行の粉末プロセス材と同等以上の耐熱強度をもち、かつコストが鍛造鍛造プロセス材と同等レベルであることが求められます。

その他の重要特性としては、破壊靱性値や亀裂進展特性等の破壊力学的特性があげられます。チタン製ディスクについては、すでにFAAの関連法規であるAdvisory Circular(No.33-141)に基づいた「損傷許容設計解析」が義務付けられる等、亀裂進展特性を考慮した設計がなされており、2010年ごろにはその適用対象がニッケル合金製のディスクにも拡大される予定です。

低サイクル疲労特性や引張強度についても、これらの特性の向上はディスクの軽量化に直接効果を与えるため、これまで同様に重要視されます。さらには、鍛造プロセスや熱処理による材料特性のコ

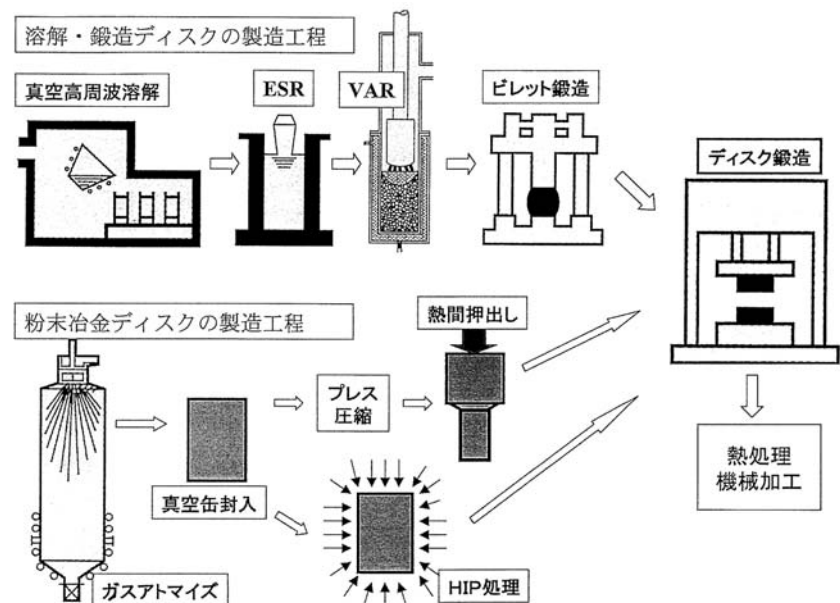


図-7 鍛造法(C&W)と粉末冶金(PM法)の製造工程

ントロールが容易であること、各材料特性が高い次元でバランスがとれていること等が望まれます。

機械的特性、非破壊検査、冶金特性の他に設計時に考慮される熱膨張、比重等の物理的特性があります。新材料に対して、機械的特性についてはより優れた特性が要求され、物理的特性(熱膨張、比重等)が従来材と大きく異なると新たに熱応力や他部品との接合等の問題が生じるため、物理的特性については同等の特性が要求されます。機械加工後に発生する歪を可能な限りゼロに近く、また切削についても耐熱合金は難切削材であるが、可能な限り切削性が良好な材料であることが要求されます。例えばタービンディスクとタービンブレードとの勘合部セレーション形状を切削する工具の寿命は部品製造コストの重要なファクターとなります。このセレーション部ではタービンブレードの遠心力による応力が発生し、タービンディスクのボア穴部にもディスクの遠心力により大きな力がかかります。そのため加工面についても厳しく管理されており、機械加工によって形成される偏向したミクロ組織が厳しく管理されます。図-6に示したような変質層が発生しにくい材料が望まれます。

8)ユーザーとしての要求

(1) 安全性/信頼性に関する要求

航空エンジンのディスクや、シャフト等は、それらが万一飛散した場合Engine Uncontained Failureとなるため安全性を阻害する重要部品として定義されています。これらの部品は繰り返し応力によって疲労が発生するため、安全率を設けて寿命を設定し、その使用サイクルに到達した場合、廃棄することが義務付けられています。

寿命は各エンジンメーカーによって算定手法が確立されており、材料スペッ

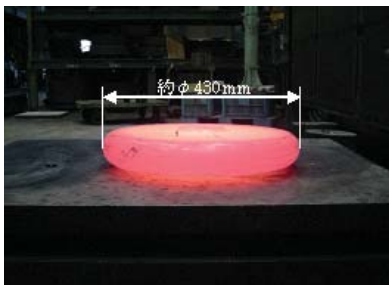


図-8 ディスク鍛造後の外観

ク/データ・ベース、設計基準とともに製造国政府の認可を受け、Life Limited Partsとしてその寿命はエンジン・マニュアルに定められています。

エアラインは、当該国政府の認可のもとで、運航データからLife Limited Partsの使用サイクルを記録管理し、寿命に到達した時点でエンジンを取卸し、当該部品を廃棄しなければなりません。しかしながら、設計寿命以内でも予期しない不具合、製造欠陥、整備作業の不備等に起因したUncontained Failureが発生した場合、製造国政府は耐空性改善命令を発行し、航空機の運航安全性を維持管理しています。これらの安全性阻害要因はそのつど分析され、設計基準や製造品質の管理に反映されています。

日本においてはこれらの実績がないため、十分な設計基準、製造品質の管理基準ができていたとは言えず、事前に過去の不具合内容を十分に分析し、これらの基準に反映できる体制を確立する必要があります。

(2) 使用サイクル寿命初期設定に対する要求

最近の欧米のエンジンではCold Section 20,000 Cycle、Hot Section 15,000 Cycleが標準的な設計寿命で、Regional Jet等は年間の使用サイクルが多いため、30,000Cycle以上に延長されています。現在ではほとんどのLife Limited Partsはエンジン導入当初からこれらの寿命を満足しています。しかし、Life Limited Partsの寿命は設計だけでなく使用実績によって認可される方法がとられており、欧米のエンジンメーカーも長い年月をかけて実績を積み、データ・ベースの蓄積をふまえて寿命を延長し、現在のように導入当初から設計寿命の認可(Certified Life)を得られるようになりました。日本のエンジンメーカーも一部のLife Limited Parts

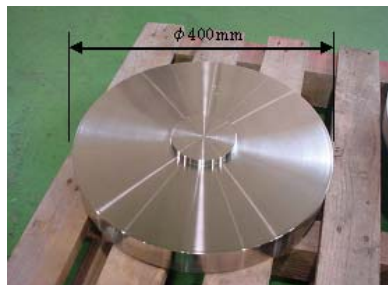


図-9 機械加工後の外観

を設計・製造していますが、これらは欧米のエンジンメーカーの設計基準、材料スペック/データ・ベースに従って設計・製造しており、日本独自の設計基準、材料スペック/データ・ベースをもっていません。このため日本独自でエンジン/Life Limited Partsを設計・製造する場合、導入当初から欧米のエンジンの使用寿命レベルの認可を得ることはできません。

寿命延長方式の場合、寿命延長の承認がおりるまでエアラインは寿命到達によりエンジンを取卸していく必要があり、エンジン生産のために部品購入をせざるを得ないこととなります。これは生産上のインパクトだけでなく整備コストにも影響を与えることとなります。将来国産エンジンを開発し、欧米のエンジンメーカーと競合していくためには、早くからこれらの寿命の算定方法、設計基準を独自で開発し、FAA等から承認を得られる体制をつくる必要があります。このためには、日本の国内でLife Limited Partsの材料スペック/データ・ベースから設計までを自らがけてエンジンの使用実績を蓄積する必要があります。

3 おわりに

エンジンの最も重要な部品であるディスク材をC&W材、PM材ともに海外メーカーに依存しなければならないことは安全保障上も大きな懸念であり、早急な対応が必要と考えられます。この点に関して、国内にはディスク材の品質に適合する真空誘導溶解(VIM)-エレクトロスラグ再溶解(ESR)-真空アーク再溶解(VAR)の3重溶解インゴット製造の設備を有し、技術レベルも高いメーカーがあるので、戦略的に市場調査や技術開発を計画的に進めることで、海外素材メーカーに対して十分競争力のあるC&W材の製造が可能であると考えられます。

なお、今回は詳細を記載いたしましたが、新規開発合金のトン級での3重溶解インゴットの鑄造鍛造評価の結果は良好であり、組織の均質化及び安定製造のために製造工程全体のさらなる検討が必要ですが、製造可能であるという見通しを得ることができました(図-7、8、9)

ANNOUNCEMENT

JRCM 理事長が交代

当センターでは、1月23日に開催された理事会において、理事長に永広和夫新日本製鐵(株)代表取締役副社長が就任いたしました。

お知らせ

日本金属学会セミナー
水素貯蔵の材料科学
- 基礎・応用技術での研究展開 -

主催：(社)日本金属学会
日時：3月30日(金)
場所：千葉工業大学 津田沼キャンパス
6号館1階615講義室
津田沼市津田沼2-17-1

問い合わせ先：

(社)日本金属学会セミナー参加係
TEL：022-223-3685
FAX：022-223-6312
E-mail：apply@jim.or.jp
<http://www.sendai.kopas.co.jp/METAL/EVENTS/seminar/index.html>

参加事前予約：3月8日(木)必着

(社)日本鉄鋼協会
第153回春季講演大会

主催：(社)日本鉄鋼協会
日時：3月27日(火)~29日(木)
場所：千葉工業大学 芝園キャンパス
内容：一般講演409件(国際セッション10件を含む)、討論会は7テーマ・50件、学生ポスターセッション・50件。

「鉄鋼研究をキーテクノロジーとしたイノベーション - 他分野との融合による新しい価値の創造を図る」講師吉川弘之氏、材料戦略委員会シンポジウム「希少資源・元素戦略研究の緊要性と可能性」(会場：千葉工業大学・津田沼キャンパス)等のシンポジウムの開催が予定されています。
特別講演会「鉄鋼新時代~持続的な成長に向けて~」馬田 一氏
(社)日本鉄鋼連盟会長、JFEスチール(株)代表取締役社長)

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第245号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM 総務企画部までお寄せください。
本誌は地球環境保全を考慮し再生紙を使用しています。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2007年3月1日
発行人 小紫正樹
発行所 財団法人 金属系材料研究開発センター
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階
TEL (03)3592-1282(代)/FAX (03)3592-1285
ホームページURL <http://www.jrcm.or.jp/>
E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp