

材料試験部の「売りの技術」

1. 新評価技術

材料試験部では、新しい材料評価技術への取り組みを継続的に行っている。昨年度から今年度にかけて、以下の2件の新評価装置を導入したのでここで紹介する。

1.1 SEMによる結晶方位計測（EBSD）

EBSD（Electron Backscatter Diffraction、電子線後方散乱回折分析装置）はSEMの中で結晶構造、結晶方位を計測できるため微小構造解析に非常に有効な計測手法であり、結晶粒径、ひずみ分析、相の同定・分布等を計測可能である。同様のことができる装置としてTEM（Transmission Electron Microscope、透過型電子顕微鏡）があるが、TEMは薄膜試料が必要であり、試料作製に手間がかかる、作製によりひずみの状態が変化してしまう、観察範囲がごく狭い、などの問題点があり、近年、EBSDによる計測が多くなってきている。

当部では、株式会社日立ハイテクノロジーズ製SEM SU-5000に株式会社TSLソリューションズ製検出器HIKARIをインストールし運用している。試料上の計測可能範囲は $\phi 32\text{mm}$ の下2/3程度、その範囲内の最大10mm四方の領域の計測結果が連結可能である。また、電子線源はショットキー型電子銃であるため、長時間安定した照射電流を維持可能となっている。図1に装置の概観を、図2に結晶方位計測例を示す。EBSDの特長を生かした材料分析例としては、以下が考えられる。

- ・ 塑性ひずみ解析（結晶粒内のひずみ計測、結晶粒同士の方位差の計測）
- ・ 表面加工層観察



図1 SEM/EBSD 概観

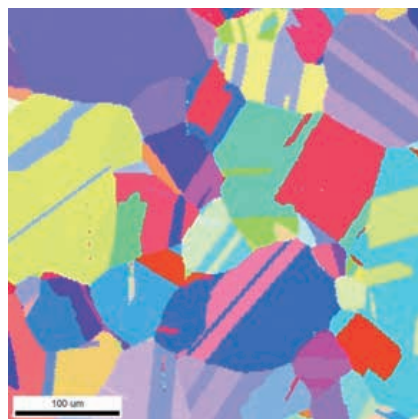


図2 EBSDによる結晶方位計測例

- ・ 光学顕微鏡による組織観察では計測が難しい微細結晶の結晶粒サイズの計測
- ・ 析出相の量比・サイズの計測
- ・ 集合組織観察
- ・ 残留オーステナイト量および分布計測
- ・ 溶接部凝固組織や熱影響部の特定

当部では、これまでにIHIグループでの計測実績により培ったノウハウに基づきEBSDによる計測サービスを提供していく。

1.2 単繊維引張試験

樹脂系・セラミックス系複合材料は比強度や靱性^{じん}が高いため、近年適用範囲が拡大している。複合材は繊維などの強化材と母材（マトリックス）をさまざまに組み合わせたものであり、複合材料の強度には繊維とマトリックスのそれぞれの強度が影響する。このため、繊維の強度測定が重要となるが、繊維は一般的に直径が約 $10\mu\text{m}$ と細いため、極低荷重で精度よく引っ張ることができ、試料のつかみ部での損傷を防ぐためのチャッキング機構の工夫がされた、特殊な試験機が必要となる。

このため、当部では2018年7月に繊維一本一本の引張特性を取得可能な単繊維引張試験機（イギリスダイアストロン社製 LEX820（図3、図4））を導入した。本試験機では、最大レンジ2Nと極低荷重で繊維一本ずつの引張試験を自動で安定かつ高精度で行うことが可能である。試料のつかみ部には専用のプラスチックタブを採用し、高強度UV硬化剤で試料を固定することにより、つかみ部での試料の損傷を防止している。また、レーザー回折直径測定装置を備えているため、試験直前に繊維の直径を計測することも可能である。本試験機の仕様を表1に示す。

本サービスは、2018年10月頃の開始を予定している。

表1 LEX820仕様

試料の長さ	4, 12, 20, 30mm
引張速度	Max. 2mm/sec.
最大荷重	2N
荷重分解能	$5 \times 10^{-5}\text{N}$
位置反復能	$0.1\mu\text{m}$
位置精度	$\pm 10\mu\text{m}$

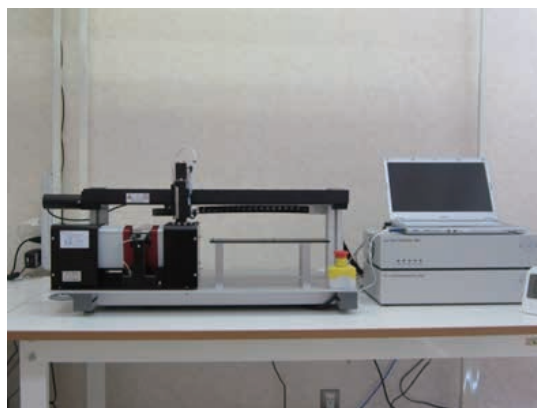


図3 LEX820の概観

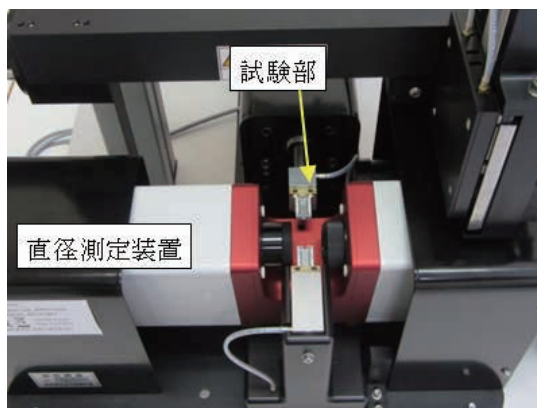


図4 LEX820試験部拡大

2. 大型設備・プラントの余寿命評価技術

材料試験部では、客先の要望に応じて種々の材料特性試験、材料劣化調査、品質保証試験、損傷品事故調査等を主要業務として取り組んでいる。さらに材料劣化と損傷品事故調査の経験を生かして、機器部材の寿命評価、健全性評価も実施している。一般の機器設備は耐久年数・寿命があり、表2に示すような設計寿命を想定して製造・運用されている。機器を経済的・安全に運用するにあたって、これらの寿命管理・評価は重要である。耐久年数を超えれば故障が頻発し、修理・部品交換が必要となり、安心・安全に使用できなくなるので、補修か新規交換

表2 各種機器の寿命

代表的機器設備・装置	標準耐用年数・耐久時間 (累積運転時間)
・鉄、鋼の寿命	2000年
・橋梁、クレーン、一般構造物	100～150年 100万時間
・水力発電設備	50年～ 50万時間
・原子力発電設備	30年～60年 40万時間
・火力発電設備	30年～40年 20万時間
・石油化学プラント	10年～20年 10万時間
・船舶	20年～ 10万時間
・航空機	20年～ 5万時間
・自動車	2000時間～4000時間
・家電	1000時間
・時計	10年
・おもちゃ	100時間
・ロケットエンジン	5分

か適切な判断が要求される。メーカーにとってこの寿命管理は重要であり、機器の性能評価で重要なポイントとなる。特に重厚長大な設備やインフラ設備は耐久年数が長く、安心・安全に運用して行くには、適切な健全性評価、余寿命診断が求められ、中でも火力発電プラント、化学プラントなどの高温高压設備や橋梁、水力発電設備などの大型設備に損傷が発生した場合には、設備自体の損害に止まらず周囲に甚大な被害が及ぶ可能性があるため、的確なる健全性評価、余寿命診断技術が要求される。表3に代表的な構造部材の経年劣化要因と評価対象、手法を示すが、個々の設備によって損傷形態を想定した寿命評価技術が開発され、運用している。

当社では、これら大型設備の維持管理としての非破壊検査技術、使用中の温度・ひずみ・変形など各種計測、構造部材の経年劣化調査、損傷解析による寿命評価など総合的評価サービスを提供している。

当部では損傷品事故調査、経年劣化評価などによる不具合発生原因の特定化、健全性評価、余寿命評価などを実施している。特にクリープは高温高压で10年単位で長期間使用される部材に対する評価であるため、材料特性、設計条件、使用状況などの知識と経験が求められる。図5にフェライト鋼で高温機器に多用されている2.25Cr1Mo鋼の余寿命評価概念図を示す。劣化状況を示す損傷比は温度による金属組織変化、負荷応力によるクリープ変形、クリープポイドの発生などにより総合的に判定され、それをもとに余寿命、すなわち今後健全に使用可能な最小時間が求められる。この余寿命時間は、信頼性を担保するために十分な安全率を確保した保守的な数値になる場合がある。安全率を考慮したRBM (Risk Base Maintenance) の手法が推奨されているが、リスクは損傷確率と事故発生費用を掛けたもので経済的・合理的に評価・運用され、クリープ寿命評価判定には高度の評価技術が要求される。2.25Cr1Mo鋼に関しては評価技術が最も進んでお

余寿命評価の概念図(2.25Cr1Mo鋼の場合)

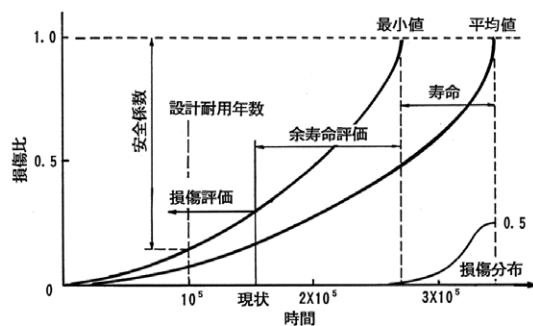


図5 クリープ損傷寿命評価、余寿命評価の概念図

表3 構造部材の経年劣化要因と評価手法

構造部材の経年劣化要因項目	評価対象、変化	検査・評価手法
① 腐食・摩耗	減肉	寸法計測
② 疲労	き裂の発生と伝播	き裂検出
③ クリープ	ポイド、割れの発生	ミクロ観察、ポイド
④ 脆化・材質変化	延性低下	衝撃試験
⑤ 機能低下	シール劣化、ガタ	目視・振動、漏れ
⑥ 修理コストと部品交換コストの比較	修理費算出	コスト評価

表 4 2.25Cr1Mo 鋼 (STBA24) 発電用ボイラ伝熱管の余寿命評価基準

管理状況	損傷比	寸法計測		管断面組織観察			機械試験		
次期点検期間	(%)	肉厚	外形寸法変形計測	ポイド観察	組織観察	硬さ計測(Hv)	内面水蒸気酸化スケール厚さ(μm)	引張試験 衝撃試験	クリープ試験
5~10年後調査	0	設計許容肉厚以上	膨出比検出不可領域	無し	組織領域 I	140以上	50以下	常温強度規格値相当 衝撃値規格値以上	NIMS CREEP DATA SHEET 平均値相当
	25		膨出比検出0.5%以下		組織領域 II	120以上	100以下	常温強度規格値以下	下限値以上
	50								
交換時期の決定		設計許容肉厚以下	膨出比検出1.0%以下	×400倍の視野で10個程度以下、ポイドは単独	組織領域 III~IV	110以上	300以下	衝撃値 14J/cm ² 以上	下限値相当
	75		膨出比検出1.0%以上		組織領域 V 以上	110以下	400以上		
即刻交換				×400倍の視野で10個以上多数観察、ポイド連続あり				常温強度大幅低下 衝撃値 14J/cm ² 以下	下限値以下
特記			・外形寸法は、減肉量を補正する ・結晶粒変形法の活用もある	・大径管と同等評価	・標準組織表で評価 ・平均使用温度を推定	・初期値の評価 ・110以下は要注意	・内層スケール厚さが重要 ・減肉量と総合判定。	・0℃での衝撃値 ・高温強度も必要	クリープ試験は、温度加速を採用し、試験応力は耐力の半分以下

り、当社では表 4 に示すような判定基準を作成し、運用している。検査項目として組織観察、硬さ計測、水蒸気酸化スケール厚さ計測、寸法計測、機械試験、クリープ試験などの結果から総合的に判定している。これらは、社内データ、および学会推奨方法、国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) の材料データ、資源エネルギー庁指針を基準にして評価している。一方、蒸気温度 600℃ 以上の新設超々臨界圧プラント (USC: Ultra Super Critical Power Plant) については、9 ~ 12Cr 系鋼が採用されてきており、溶接継手部の強度評価や複雑な形状部位で

信頼性の高い健全性評価が求められている。特に大径管は、小径管のように破壊試験を行うことが難しいため、その評価には表面のレプリカ組織観察によるクリープポイド評価と、内部を調べるため超音波探傷 (フェーズドアレイ法) を採用している。当社では、検査事業部と計測事業部が協力して信頼性の高い寿命評価を実施している。

文責

計測事業部 材料試験部長 齋藤 吉之
 技師長室 フェロー 中代 雅士