

TODAY

学生が夢を描ける産学人材育成を



経済産業省 製造産業局
鉄鋼課 製鉄企画室
室長 覚道崇文

昨年7月、製鉄企画室長に着任してから半年近くが過ぎました。仕事柄、鉄鋼会館に行く機会も多いのですが、昨年近代製鉄150周年記念事業の広報大使を務められた石井竜也さんとともに「夢はアツいうちに打て。」というキャッチコピーが書かれたポスターが、同会館のここに貼られているのを目にします。鉄鋼業界の2010年リクルート用の広報ポスターで、特に理工学系の新卒採用を意識したものと思いますが、業界として人材の確保に相当な力を入れていることがうかがえます。その一方で、同業界の方からは、理工学系の学生の間で鉄鋼業への関心が芳しくないというお話もよく耳にします。鉄鋼業は伝統がある産業であるがゆえに、逆に、学生にとっては未来の技術を切り開くといったイメージとつながりにくいかもしれません。そもそも、私が学生だった20年近く前に人気があった電気・電子といった分野でさえ、近年は、既に成熟産業というイメージができてきたのか、学生の関心が随分と下がっているとも聞きます。我が国産業の実態を見れば、鉄鋼や電気電子などの分野の重要性は誰の目にも明らかでしょう。当然、こうした分野を支える人材の確保も極めて重要になるわけですが、そのためには学生がこれらの分野に魅力を感じ、また夢と希望を抱けることがまずは必要だと思います。

今日、産業界がいかに大学から質の高い学生を確保するか、また、学生の関心を高めるために産業界は何ができるかというのは、我が国の幅広い産業分野で共通の問題意識になっていると言ってもいいでしょう。一方、人材の供給側として産業界のニーズにどう応えるのかというのも、実際の人材育成の場である大学の問題意識として高まっているものと思います。産業界と大学が、こうしたお互いの問題意識を共有しつつ、幅広い対話を通じ

て連携・協力を強化し、具体的行動につなげる場として、昨年度から「産学人材育成パートナーシップ」という取組が進められています。全体会議の下の9つの分科会の一つとして、鉄鋼も含めた材料分野を扱う材料分科会が設けられており、先月、同分科会の本年度の第1回会合が開催されました。私もオブザーバーとして出席しましたが、その場で、学界側代表の委員の一人から、材料分野の技術がいかに広い分野に応用され、多くの課題の解決に貢献しているかをよくアピールする必要があるといった趣旨のご発言がありました。とても重要なご指摘であると思います。

今日の我が国は、高度成長期等と違い、この技術でどの国に追いつくとか、こんな夢のあることを実現するというような、比較的わかりやすい目標は少なくなっていると思います。それだけ国として成熟していることの証左とも言えるのでしょうか、他方で、地球温暖化問題など近年になって顕在化してきた課題も多くあります。学生が社会に出て何に取り組むかを考えるとき、まったく新しい技術で、これまで夢の世界でしかなかったことを実現しようというような文字通りの「夢」に挑戦することだけでなく、世の中の課題克服に貢献して、より豊かな社会を作るといことも目標になり得て、これもまた「夢」と呼んでいいと思います。そして、今日、日本が置かれている状況に鑑みれば、工学系の学生には、こうした課題解決型の夢を持つことも期待されており、また、そのような夢の方が描きやすい面もあるのではないのでしょうか。もちろん、斬新な技術で人類の未来を開くというような分野もまだまだあり、そうした道に進む夢を持つことが素晴らしいのは言うまでもありません。いずれにしても、大学において質の高い教育を受けた人材が、その成果を活かしつつ、夢と希望をもって産業界で活躍できるということは、我が国が将来にわたって発展を続けていくために不可欠な要素だろうと思います。

上述した産学人材育成パートナーシップの今年度の材料分科会では、人材育成の成功事例の調査、学生へのPR戦略、大学の産業貢献評価のあり方などが議論され、今後の取組の方向性が出されることとなっています。ぜひ、将来を担う学生が「アツいうちに打つ」べき「夢」を描けるような産学人材育成に結びつくことを期待しています。

NEDO「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」
 における内部起点疲労破壊サブグループの活動
 横浜国立大学 梅澤 修（内部起点疲労破壊サブグループリーダー）

1. 軸受鋼や歯車用鋼を取り巻く状況

現在、国内鉄鋼メーカーが製造する軸受鋼や歯車用鋼の品質レベルは世界的に優れており、日本の自動車業界の技術力にも反映されている。しかしながら、これまで国内材が優位であった介在物制御技術に関しても、海外鉄鋼メーカーの技術は急速に進歩している。今後、継続的に優位性維持・拡大を狙うには、とりわけ疲労強度に影響する非金属介在物に関し、鋼材成分制御に加え、差別化を図る技術開発が必要である。そのためには、高強度鋼において問題となる内部起点型疲労損傷の中でも、旧来よりその現象メカニズムが不明確である転動疲労において、そのメカニズムを明確にすると同時に、さらなる高強度化・長寿命化のための制御指針、すなわち、寿命予測式と臨界介在物径の提示が必要である。寿命予測モデルの量産材への適用が可能になれば、部材の信頼性と耐荷重性能の向上が得られ、部品の小型化・軽量化につながる事が期待できる。

2. 転動疲労メカニズムに基づいた寿命予測式の構築に向けて

転動疲労の場合、損傷とき裂の発生・伝播は3次元に複雑に分布した応力の影響を受ける。そこで、本研究課題では、き裂発生や進展、剥離損傷を疲労試験前の状態から追跡調査し、これらの現象を予測するシミュレーション技術の構築、剥離メカニズムの明確化を経て、新しい寿命予測式や介在物制御指針を考案するものである。従来の知見を踏まえ、内部起点疲労破壊サブグループにおいて討議した転動疲労メカニズムの仮説モデルを図1に示す。この予測モデルに基づき、図2に示す研究機関の相関と研究内容の流れを設定した。すなわち、超音波探傷技術（UT）を用いて試

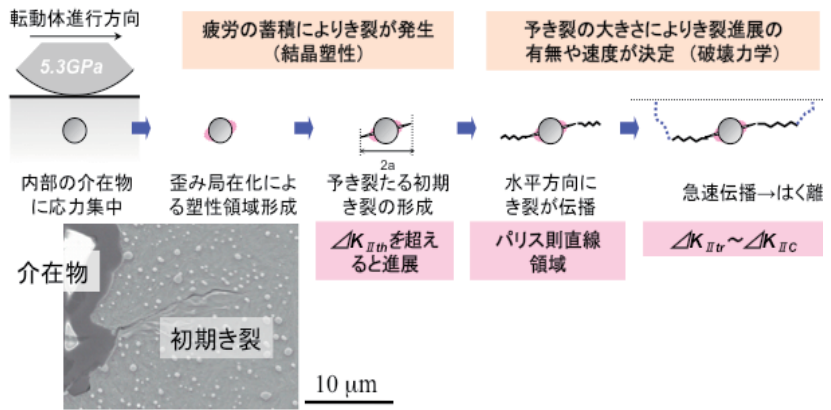


図1 寿命予測に必要な転動疲労メカニズムの予測モデル

験片中の介在物部位を同定し、剥離プロセスの概要の把握とともに、動的に疲労過程を追ったメカニズム解明のための解析試料を提供する。疲労現象全てに共通した素過程である局所損傷・き裂発生、き裂伝播・停留を実験的に検出・解析する共通基盤技術開発を行う。転動疲労における素過程の検討と応力解析を組み合わせて、介在物まわりの応力状況とその転動疲労メカニズムのモデル化を行う。転動疲労試験データベースを構築するとともに、転動疲労メカニズムに基づいた寿命予測式の構築と検証試験を実施して実用化技術開発を図る。

3. 研究開発課題とこれまでの成果

3.1 転動寿命試験における剥離プロセス観察技術

超音波精密探傷技術を利用した非破壊的経時変化観察技術を高度化し、転動寿命試験における剥離プロセスの概要を把握する。事前に存在が特定された非金属介在物について転動疲労過程のトレースに成功した。その結果、図3に示すように世界で初めて、内部起点き裂が転動疲労過程の極めて初期段階（ 1×10^4 回まで）で発生（超音波エコー像増大）する確証を得た。その後、き裂の停留あるいは成長、剥離損傷についてもトレースすべく、さらに調査を継続している。

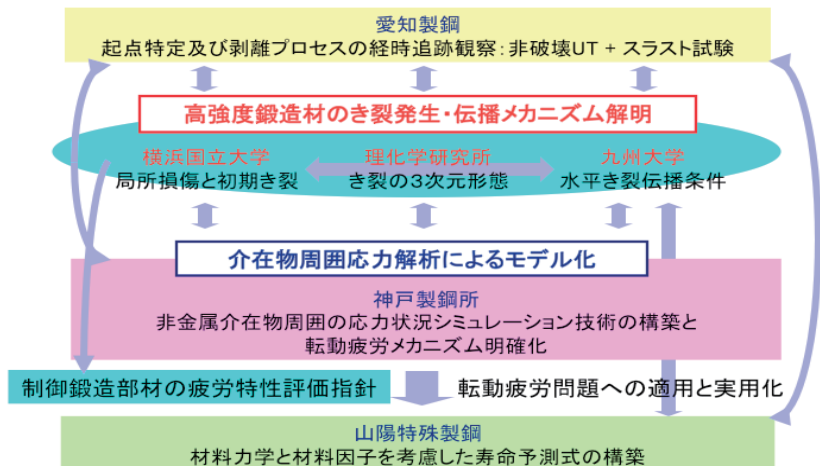


図2 内部起点疲労破壊サブグループの研究体制

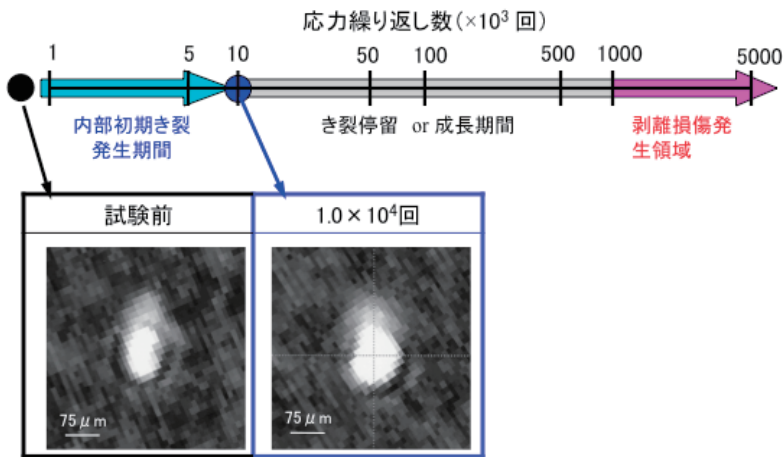


図3 転動疲労後 (1×10^4 回) の超音波エコー像の変化 (推定存在深さ: $150 \mu\text{m}$ 、推定介在物径: $27 \mu\text{m}$)

3.2 初期き裂はひずみ勾配領域に形成

低・中炭素マルテンサイト組織のSEM-EBSD法による疲労損傷評価基礎技術について検討している。人工欠陥を導入したSCM420H焼戻しマルテンサイト材を用い、転動疲労後の欠陥周りに形成したき裂部をセクショニングし、ひずみ勾配と初期き裂形成、せん断変形部における結晶回転、初期き裂先端(塑性域)における微細粒の形成について明らかにしてきた。初期き裂は、最大せん断応力域でなく、ひずみ勾配が大な領域に形成しており(図4)、2次的な開口応力場(モードI)が初期き裂成長を担っていると推測される。一方、最大せん断応力域では $\langle 111 \rangle$ 周りに結晶回転が生じており、塑性変形による組織変化(組織微細化&集合組織形成)が存在する。転動疲労は高サイクル数で破壊に至るが、き裂形成は十分なひずみ損傷(低サイクル)によることを支持している。また、自由界面(介在物剥離や介在物割れ)とき裂

発生、セクショニング再構成によるき裂部3次元化の評価方法について検討を進める。

3.3 材料内部に存在する介在物やき裂の3次元形態・分布の解明

X線CTやMicro-CTでの撮影が困難な鉄鋼材料内部に存在する大きさ数十ミクロン程度の介在物の観察と、精細な3次元形状モデルの作成を行う。逐次断面観察を効率的かつ高速に行うため、NC精密加工機に超音波楕円振動切削装置と顕微鏡システムを搭載した全自動の逐次断面観察システムを構築した。この超音波切削により、従来、精密切削が困難であった鉄鋼材料に対しても、ドライ条件下での鏡面生成と多断面にわたる長距離加工を

実現した。軸受鋼内部に存在する介在物の3次元観察結果の事例を蓄積している。図5に示したように、大きさ $40 \mu\text{m}$ 径程度の介在物が、深さ方向に 1mm 程度の範囲に分布する場合も検出している。また、個々の介在物形状は非常に複雑で、鋭いエッジを有することが確認された。このような介在物の精細モデルに基づいた力学解析から、き裂の発生や進展に関する新たな知見が得られるものと期待される。

3.4 応力シミュレーション

転動疲労試験後の介在物周囲の疲労損傷や初期き裂の観察を行うとともに、FEM解析による応力シミュ

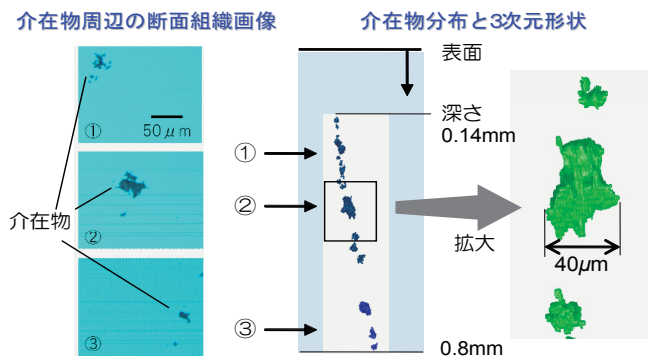


図5 軸受鋼内部介在物の3次元構造観察結果

レーションと比較することで理論的な裏づけを行う。従来の応力解析では検討されていなかった繰り返し負荷による歪の蓄積や介在物と母相の界面状態やまで考慮し、実際の現象に合う応力シミュレーション技術の構築に取り組んでいる。図6は、計算結果の一例で、ひし形形状の介在物を最大せん断応力深さに配置して応力荷したときの、歪分布を示しており、最大歪位置、き裂発生方向について、実際の観察結果と定性的に一致することも確

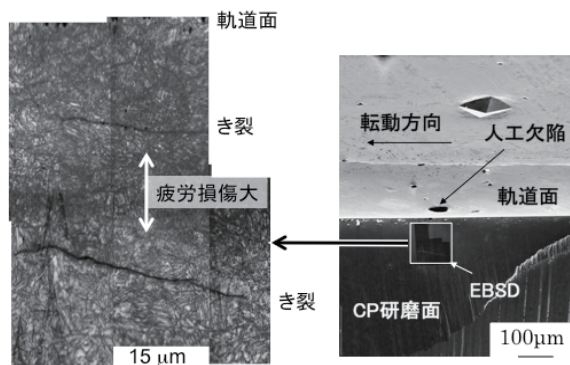


図4 人工欠陥を導入したSCM420材の転動疲労き裂発生状況 (3.25×10^6 回)

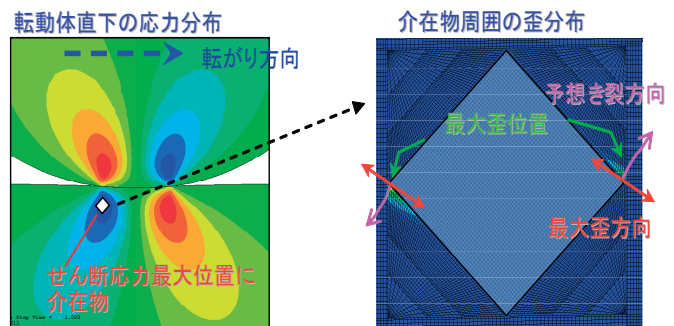


図6 介在物周囲の応力シミュレーション結果

認している。今後、実際の介在物形状での計算と観察結果との比較や、界面状態の影響、き裂進展の解析などを進め、転動疲労メカニズム解明に活用する。

3.5 き裂進展挙動の動的・連続観察技術の確立

鉄鋼材料の磁気特性を利用し、き裂進展とその状況を連続的に観察する技術の確立を目標とし、転動疲労試験時のき裂が active な状態かどうかの具体的な判断や、active な場合の疲労損傷を定量的に判断で

きる高感度なセンサー技術を確認した。これにより、き裂周辺磁場の可視化および疲労にともなう磁場変化の観察に成功した。さらに、応力拡大係数と強い相関関係を示す磁場パラメータを抽出した。図7は、4点曲げ疲労によりスリットから発生したき裂の連続観察を行い、磁場の特徴を数値化した例であり、き裂の応力拡大係数と強い相関関係を示すパラメータが得られている。3次元き裂進展挙動と磁場の関係の把握するために、転動疲労に必要な高空間分解能な観察環境の実

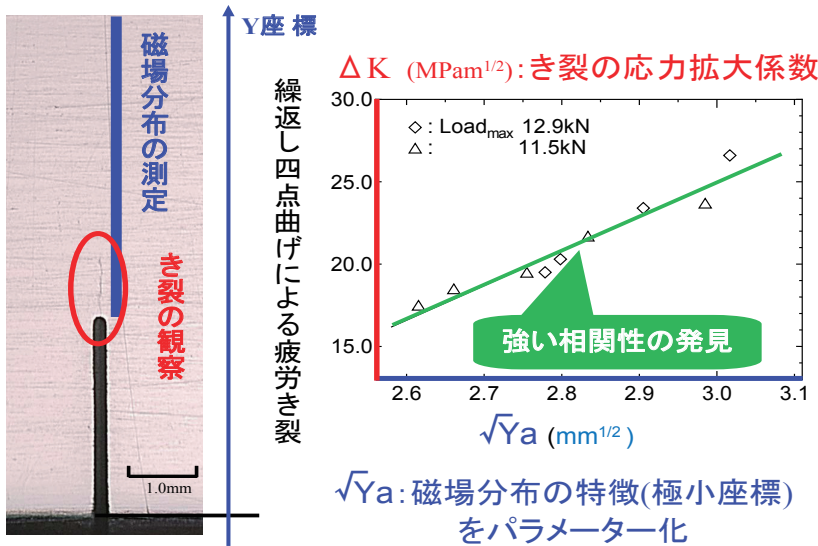


図7 疲労き裂先端の応力拡大係数 ΔK と強い相関関係を示す磁場パラメータ $\sqrt{Y_a}$

現と提案パラメータをもとにした評価システムを構築して、新しい疲労き裂の評価を行う。

3.6 材料力学と材料因子を考慮した寿命予測式の構築

S-N型(負荷荷重を変えた)の寿命試験を実施し、破壊起点介在物の情報ならびに予測される破壊モデルに基づき、非金属介在物起点に関する寿命予測式を立案することを目指している。図8に示すように寿命構成の把握が得られ、寿命はParis則 ($da/dN = C(\Delta K_{II})^m$, C, m : 定数) に従う区間が大半を占める。 ΔK_{II} と寿命との関係データを整理拡充中であり、寿命下限線として予測可能であることが見出された。まずは、酸化物系介在物起点の破壊寿命予測を目指している。

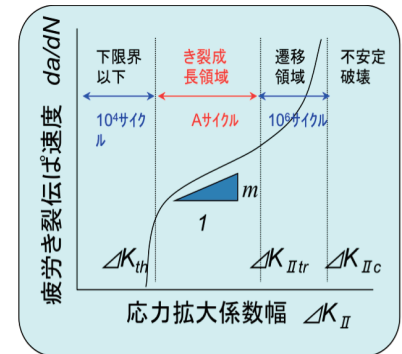


図8 転動疲労寿命予測式の考え方 Y_a

■お知らせ

○シンポジウムの開催

「アルミニウムの切削加工技術」
—工場見学を含む—

主催：社団法人軽金属学会
後援：財団法人軽金属奨学会
協力：株式会社森精機製作所
日時：平成21年2月6日(金)
10:30～17:00
会場：株式会社森精機製作所
千葉事業所
(千葉県船橋市鈴身町488-19
東葉高速鉄道「八千代緑ヶ丘駅」より送迎バスあり)
定員：100名

参加費：正・維持・協賛学協会員
15,000円 学生2,000円 非会員
25,000円(昼食込み)
申込先：軽金属学会ホームページ：
<http://www.jilm.or.jp/> よりお申込み下さい。
問合先：社団法人軽金属学会
(〒104-0061 東京都中央区銀座
4-2-15 TEL 03-3538-0232
FAX 03-3538-0226)
プログラム
10:30 開会の挨拶
10:35～11:35 1. アルミニウム
切削の本質 芝浦工業大学 小川誠
11:45～12:25 2. 非低融点系鉛
フリー切削用アルミニウム合金の

開発 (株)神戸製鋼所 吉原伸二
13:15～15:00 3. (株)森精機製作
所 見学会
15:10～15:50 4. 過共晶 Al-Si
系合金の被削性と工具摩耗 滋賀
県立大学 田中他喜男
15:50～16:30 5. 最新のアルミ
ニウム合金加工用切削工具 三菱
マテリアル株式会社 長谷川良栄
16:30～16:50 6. アルミニウム
試作ビジネスの現状と展望 JDF 株
式会社 田中勝広
16:50 閉会の挨拶
(世話人：ホンダエンジニアリング
(株) 齋藤和也, 日本軽金属(株) 塩田
正彦, 東京大学 関 史江)

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第267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。
本書の内容を無断で複製・複製・転載することを禁じます。

発行 2009年1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