

## TODAY

## — 研究開発プロジェクトを通じた産学官ネットワークと人材育成の強化 —



一般財団法人  
金属系材料研究開発センター  
専務理事 小紫 正樹

日ごろ、関係の皆様方には、誠にお世話になっており、厚く御礼申し上げます。

JRCMは1985年の設立以来27年間にわたり、多くの方々のご支援の下、鉄・非鉄材料分野の広範な研究開発に取り組んでまいりました。現在実施中の9テーマを含め、合計56テーマのR&D関連活動を実施してきております。

設立当初の1985年頃は、材料研究の重要性が認識されはじめた頃であり、同時期に多くの素材技術のR&Dを実施する公益法人が設立された時期でもありました。その後、1990年頃からNEDOからの受託研究開発が開始され、また、2000年頃からは地域コンソーシアム事業等の産学官連携型や人材育成プロジェクトにも力を入れております。

最近のJRCMのR&Dプロジェクトの特徴は、すべてが企画競争型となっていることです。企画競争型のプロジェクトにおきましては、通常、他の多くの応募者との厳格な競争を行った上で、その提案の優秀性が認められて初めてプロジェクトが成立いたします。R&Dプロジェクト組成に当たってはより質の高い企画力、研究開発マネジメント力が求められるようになっております。さらに、昨今の世界的な資源の高騰やレアメタル問題のように、世界の動きが急であり、それに合わせたフットワークの良いR&D企画・提案を行うことが重要になって来ております。JRCMが付加価値として高い機能を果たせるかどうかで、その存在意義が問われる時代になったと思っております。

最近のJRCM最大の研究開発テーマである「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能基盤研究開発」におきましては大学等の35の研究室と共同研究を実施してきました。平成19年度からの5カ年計画で進めてきた本プロジェクトが最終年度を迎えた今年1月12日、13日に日本科学未来館において研究成果発表のシンポジウムを開催いたしました。

シンポジウムには、連日、350名超の方々に参加いただき、成果報告55件、基調講演7件の発表に対し、活発な意見交換がなされました。

本プロジェクトは、高級鋼の接合技術、鋼中の水素挙動、超々臨界火力発電用耐熱材料、制御鍛造技術、内部起点疲労破壊予測等の幅広い分野で大きな成果を上げましたが、この直接的な成果に加え、鉄鋼技術分野での産学官の連携ネットワークの構築、人材育成に大きな貢献を行っています。成果発表のシンポジウムの発表者の所属は、13大学、11企業、4国立研究所の多数であったことが象徴するように、本プロジェクトには非常に多くの大学研究者、公的研究機関研究者、企業研究者の密な連携が実現しました。

本研究開発の実施運営では、研究企画委員会、各SG会合、研究委員会を頻繁に開催し、また、各参画大学、研究所、企業の研究者が頻繁に会合し、さらに、各大学では、多くの若手教員、ポスドク、学生が、本プロジェクトに参画することにより、鉄鋼技術への関心を高めることができたことは、誠にすばらしいことであったと実感しています。

残念ながら、平成24年度は鉄鋼技術関係の大型研究開発の予定はありませんが、平成25年度以降の新規研究開発プロジェクトの立ち上げに全力を尽くしたいと希望しております。

今後とも、ものづくりの未来の創造への貢献、世界最高のR&D企画力とマネジメント力で社会への貢献、環境・資源・エネルギー問題への率先した取り組みの企画提案に努めて参りますので、皆様方のご支援、ご鞭撻をお願い申し上げます。

「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」プロジェクトの研究成果概要  
 内部起点疲労破壊サブグループ (SG)  
 鉄鋼材料研究部 主席研究員 吉田 周平

1. はじめに

NEDO「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」プロジェクトは、多大なる成果を残し平成24年2月で終了した。本報では、前月度に引き続き内部起点疲労破壊SGについて、その成果の概要を報告する。  
 (JRCM NEWS 305,306,307号参照)

【目標】

高強度鍛造材の転動疲労き裂発生・伝播機構の解明と寿命予測式の構築のため、①材料力学と材料因子の両方を考慮した世界初の転動疲労の寿命予測式構築、②目標寿命に対する非金属介在物サイズの臨界値、および③限界き裂長さに及ぼす非金属介在物と応力の影響を明確化する。

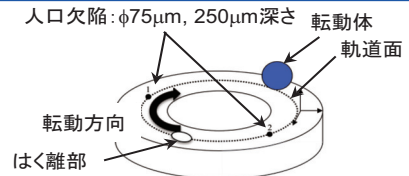
2. 研究目標および成果概要

【緒言】

転動疲労や制御鍛造部において、損傷領域に変形勾配を生じることから、局所的な疲労損傷が破壊原因を与える。しかしながら、軸受鋼に代表されるマルテンサイト鋼の転動疲労機構は不明な点が多く、より精緻な寿命予測による高強度化・長寿命化を図るに当たり、転動疲労破壊現象の理解が不可欠である。本研究では、人工欠陥を導入したSCM420Hマルテンサイト鋼をモデル材に用いて転動疲労による損傷とき裂形成の電子線後方散乱回折(EBSD)法による解析を行い、界面で生じる変形勾配(局所的疲労損傷)の可視化と、初期き裂周りの組織変化について報告する。

【供試材】

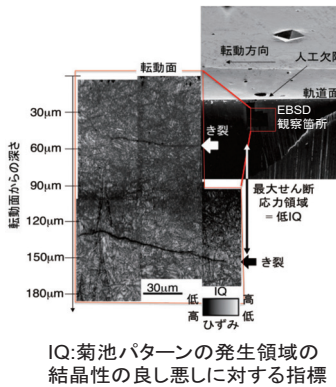
SCM420H鋼 (850°C-30min油焼入れ, 450°C-30min焼戻し)  
 回転数: 1500rpm, ポール: 3/8インチ×3個  
 最大接触面圧: 3.3GPa, 最大繰返し回数:  $3.4 \times 10^6$



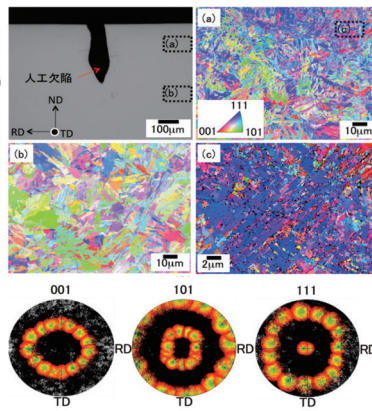
【EBSDによる人工欠陥部の観察】

1. ひずみ勾配とき裂形成

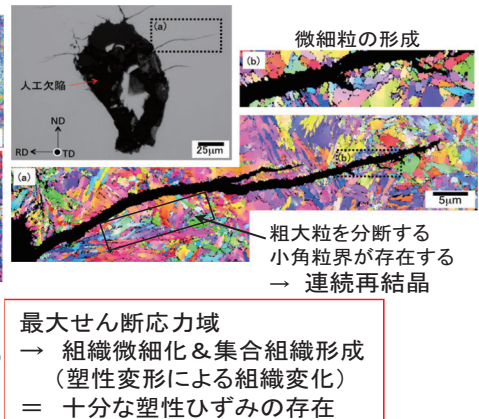
き裂伝播: ひずみ勾配領域



2. せん断変形部における結晶回転の影響

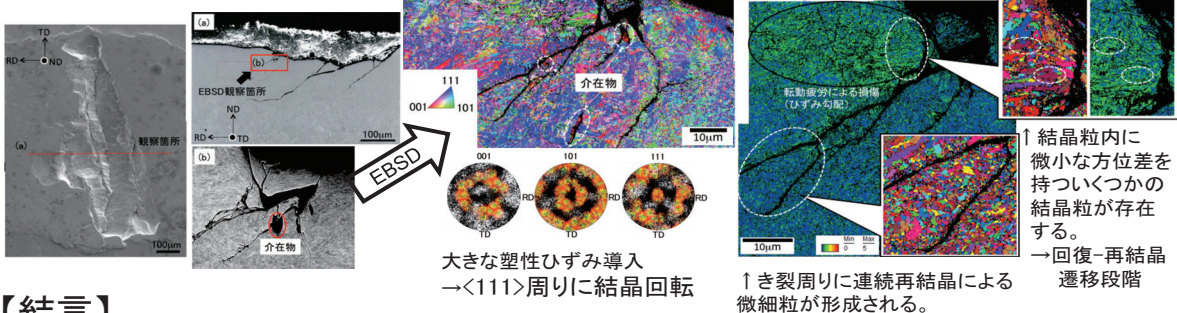


3. 初期き裂先端における微細粒の形成



【EBSDによるはく離部の観察】

1. はく離部表面の観察



【結言】

- 人工欠陥部とはく離部の初期き裂は、ひずみ勾配領域に形成している。
- 二次的な開口応力場 (Mode I) がせん断応力場 (Mode II) とともに初期き裂成長に関与することが示唆される。

図1 高強度鋼の局所的疲労損傷評価技術の確立\*

[成果]

(1) 介在物形態の3次元解析、疲労素過程の実験的検討とシミュレーション技術を組み合わせ、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った。酸化物系介在物、TiN系介在物、MnSで転動疲労損傷過程が異なり、ヤング率およびマトリクス/介在物界面の密着状態がき裂発生に大きく影響することを明らかにした。(図1~5)

### 概要

鉄鋼材料の内部構造を三次元で観察可能なシステムの開発と取得した画像データを用いて形状特徴を定量的に評価可能なデータベース構築に取り組んだ。逐次断面観察法を用いた軸受鋼サンプルの観察から、軸受鋼内に分布する数十 $\mu\text{m}$ 程度の介在物、1 $\mu\text{m}$ 程度のき裂の観察に成功した。

### 三次元内部構造観察システムの開発

#### 観察システム

#### システム動作

#### 観察結果

### 介在物、き裂形状解析ソフトウェアによる評価技術の構築

#### 形状解析ソフトウェア

図2 高強度鋼のき裂形態3次元観察・介在物組織評価技術の確立\*

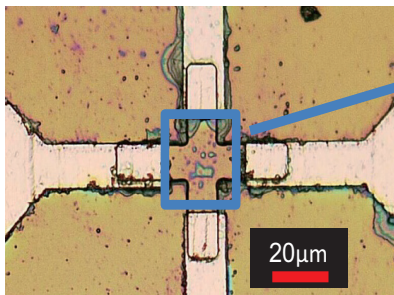
(2) 種々の介在物を対象とする転動疲労試験データを取得して、転動疲労メカニズムに基づいた寿命予測式の提案を得た。すなわち、寿命は Paris 則 ( $da/dN = C(\Delta K_{II})^m$ ,  $C, m$ :定数) に従う区間が大半を占め、この考え方に準じたパラメータ ( $\Delta K_{II}$ ) を定義し、 $\Delta K_{II}$  と寿命との関係データから工業的に重要となる寿命下限線を取得した。(図6)

①初めに - 磁場による非破壊検査 -

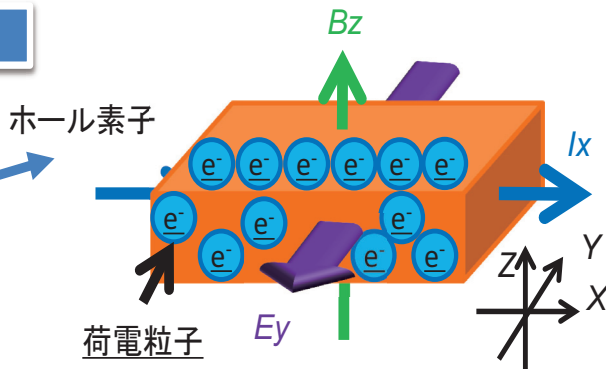
磁場を利用した非破壊評価方法は、優れた磁気特性を持つセンサ材料の開発、センサの小型化に伴い、サブミリメートルサイズの欠陥検出が可能であり、精度の向上が著しい。このため、逆磁歪効果、応力誘起変態による磁場変化を利用した損傷負荷や応力履歴の測定技術へ適応が検討されている。

このように魅力的な新技術として期待されているため、本研究では、欠陥やき裂の検出に適した磁場顕微鏡を開発し、欠陥周辺の磁場やき裂進展に伴う磁場変化を観察を行うことで、磁場非破壊検査における基礎的技術の確立を行った。今後、残留応力、塑性域などの応力(負荷)状態を把握し、余寿命の正確な予測が可能となる技術の基礎を確立した。

②走査型ホール素子顕微鏡(SHPM)

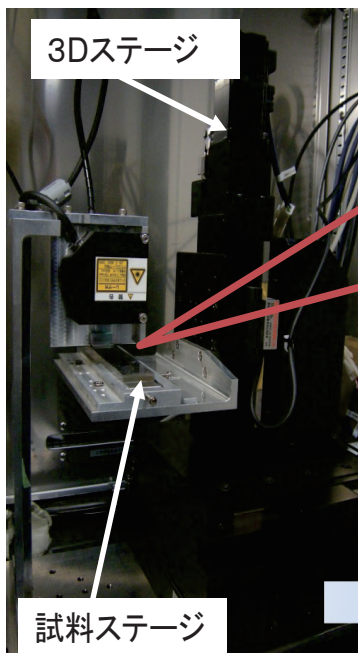


微小GaAs磁気センサ

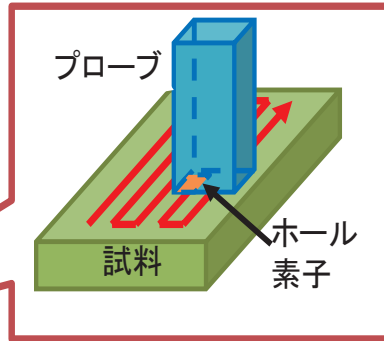


$$E_y = RH \cdot B_z \cdot I_x \quad RH: \text{Constant}$$

ホール素子に電流  $I_x$  と磁束  $B_z$  が作用する時、ホール効果により電場  $E_y$  が発生する。SHPM はホール素子を取り付けたプローブを走査しながら、電場を測定し、上記の式から磁束  $B_z$  を測定する。



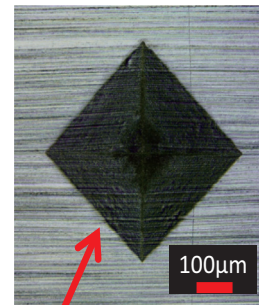
三次元磁場顕微鏡



高分解能 (10µm) ・  
高感度 (1µT) .  
高動特性 (10.0mm/sec) .  
常温大気中で測定可能.

測定例

ビッカース圧痕周辺の塑性域に生じた自発磁化



100µm

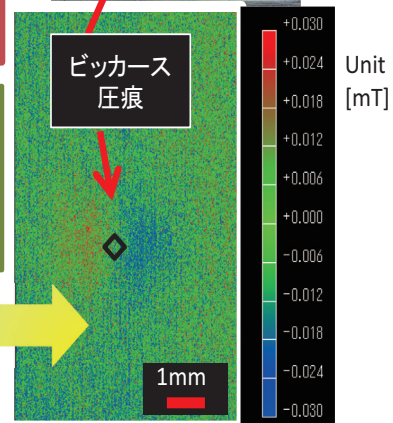


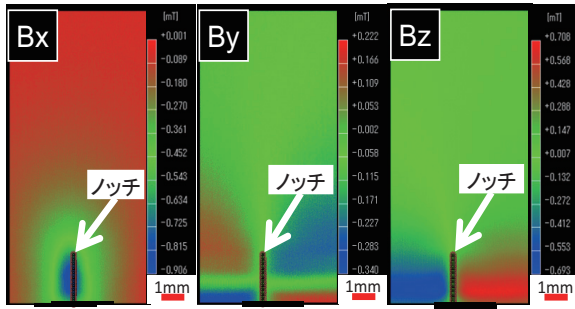
図3 高強度鋼の初期き裂進展状況評価技術確立と影響因子の明確化 - 1\*

### 3. 結言

本プロジェクトは、世界に先駆けて、鋼構造部材やプラント部材等の高機能化を達成する基盤技術を構築するとともにその実用化を目指したものであり、その目標を十分達成することができた。ここで創出・確立された革新的な基盤技術は、我が国製造業の国際競争力向上のみならず、CO<sub>2</sub>削減など地球環境問題の解決やより高度な省エネルギーと安全安心を両立する社会の構築に貢献できると考える。本プロジェクトの推進に携わった全ての産学官関係者の英知と努力に感謝申し上げる。

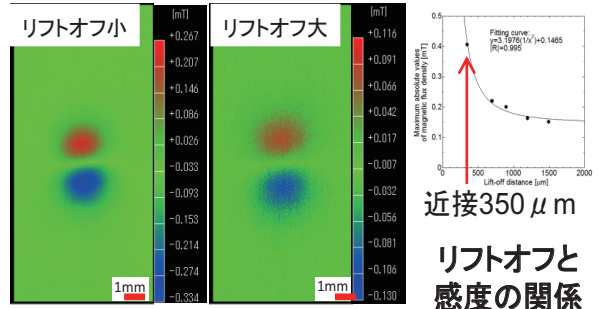
#### ③磁場顕微鏡の高性能化

**測定磁場の三次元化**  
センサを複数使用し、三次元磁場分布を観察。



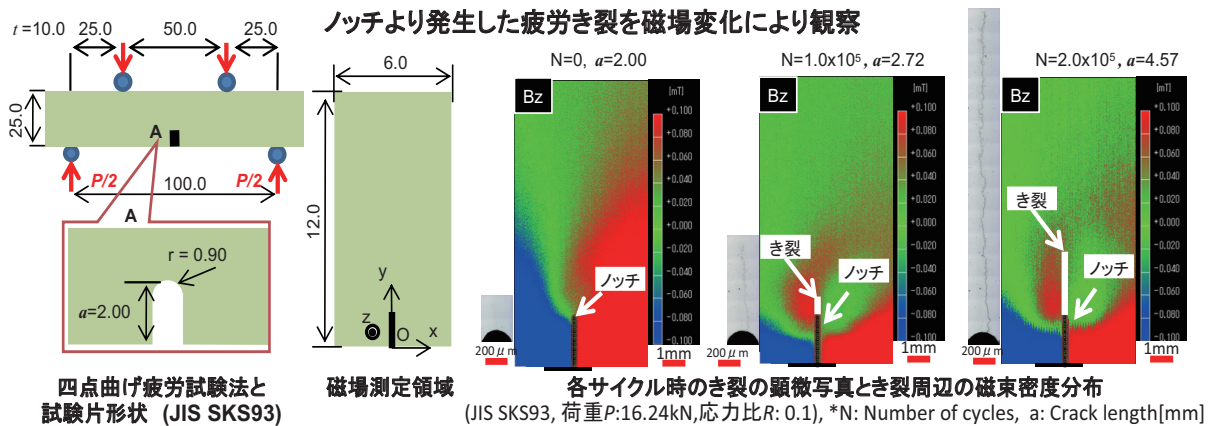
人工ノッチ周辺の三次元磁束密度分布

**リフトオフ低減による感度向上**  
センサと試料間距離を接近させ、精度が向上。



異なるリフトオフ量による観察結果

#### ④き裂進展時の磁場変化観察



四点曲げ疲労試験法と試験片形状 (JIS SKS93)

磁場測定領域

各サイクル時のき裂の顕微写真とき裂周辺の磁束密度分布 (JIS SKS93, 荷重P:16.24kN, 応力比R:0.1), \*N: Number of cycles, a: Crack length[mm]

#### ⑤溶接材の熱影響部評価

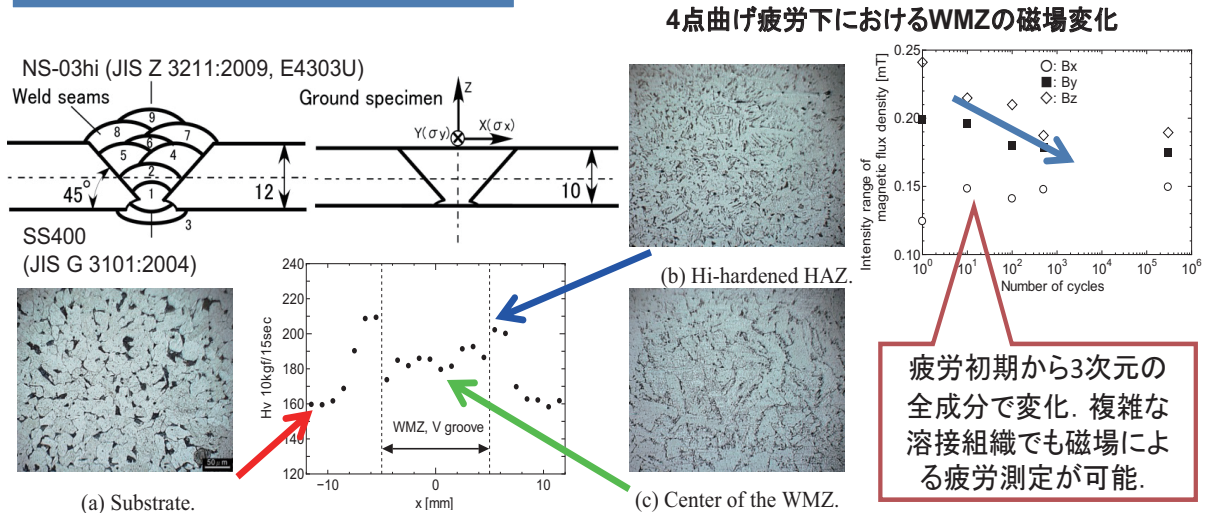


図4 高強度鋼の初期き裂進展状況評価技術確立と影響因子の明確化ー2\*

※図1中の剥離写真の部品とエコー像を取得した試験片は違うものである

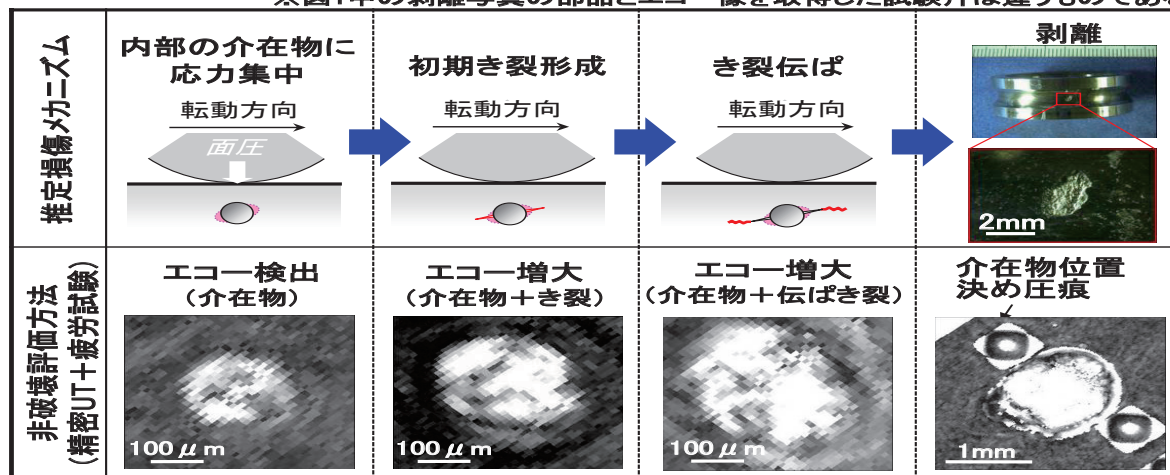
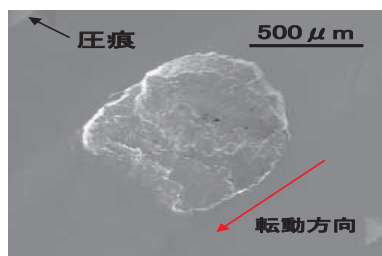


図1 介在物起点の推定損傷メカニズムと非破壊調査方法

※図1中のエコー変化を示した試験片の剥離形状を観察

精密UTによる介在物情報⇒推定径：約50 μm、推定存在深さ：約210 μm



- ①非破壊評価結果より、介在物起点の剥離である
- ②ただし、破面観察では介在物は確認されない  
※通常、剥離と同時に介在物は無くなってしまう

剥離後の破面から介在物を観察することが難しいため、介在物起点の損傷メカニズム解明には、非破壊評価が非常に重要

写真1 剥離形状観察写真

図5 剥離損傷調査における非破壊評価

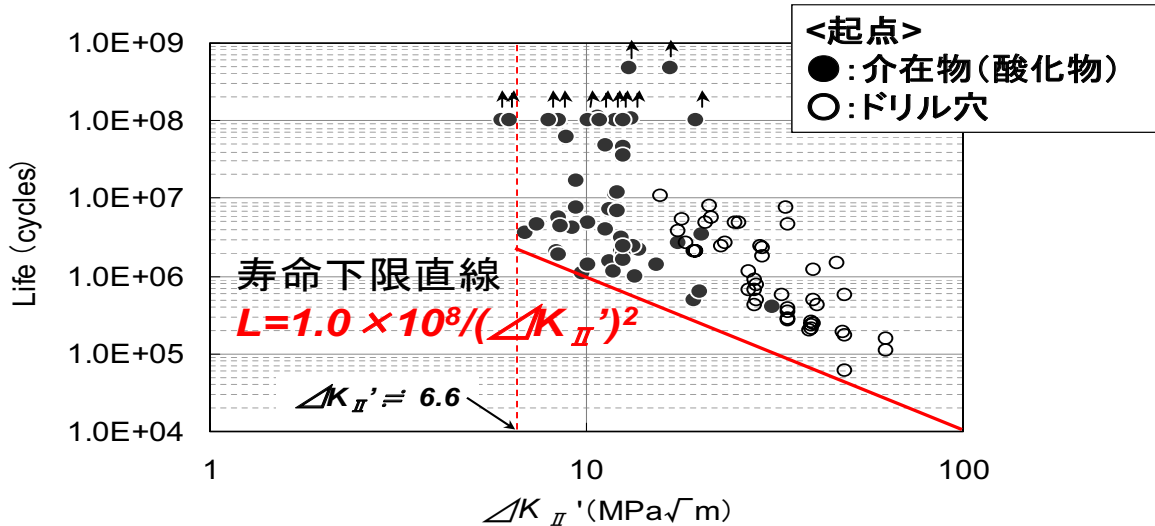


図6 寿命評価下限線

\* 図1~6には第2回成果報告シンポジウム展示ポスターを掲載した。NEDOの提供に謝意を表す。

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第308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写・複製・転載することを禁じます。

発行 2012年6月1日

発行人 小紫正樹

発行所 一般財団法人 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

T E L (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](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)