

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03748

研究課題名（和文）放射光顕微CT解析に基づく超高サイクル疲労破壊の機構解明と評価法構築

研究課題名（英文）Elucidation of the mechanism of very high cycle fatigue and the development of its evaluation method based on synchrotron radiation micro/nano-CT

研究代表者

中村 孝（Nakamura, Takashi）

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：30237408

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 29,500,000円

研究成果の概要（和文）：材料内部からき裂が発生し、長寿命域で疲労強度が低下する現象（超高サイクル疲労）のメカニズムを明らかにするために、SPring-8の放射光X線CTを用いて数十マイクロメートル程度の微小き裂の非破壊検出技術を構築した。これを用いた観察の結果、内部き裂の進展速度は表面き裂よりはるかに低く、高真空中のそれにほぼ等しいことが明らかとなった。内部き裂は真空中に類似した環境を極低速で進むために、超高サイクル域で破壊が生じると推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高張力鋼やチタン合金等の高強度金属において、長寿命で疲労強度が低下する現象（超高サイクル疲労）が近年広く知られるようになった。これは材料内部を起点とするき裂の発生・進展により生じるが、内部き裂の検出が困難なことから、その破壊機構は明らかにされていない。本研究は、SPring-8における放射光X線CTを用いて数十μmの内部微小疲労き裂をSEMレベルの分解能で観察する技術を構築し、これまで全く明らかにされていなかった内部き裂の挙動を解明することを目的としている。本研究の成果は最先端非破壊検査技術のさらなる高度化、疲労強度学の発展、超高サイクル疲労評価法の構築等に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：The study aims to clarify the mechanism of very high cycle fatigue, which deteriorates the fatigue strength in the long-life regime due to the crack initiation inside materials. A nondestructive inspection technique of small cracks with a few micrometers was developed using synchrotron radiation X-ray computed tomography (SR-CT) at SPring-8. The SR-CT revealed that the crack growth rate of internal crack was much lower than that of surface crack and almost similar to that in a high vacuum. Fatigue fracture in the very high cycle regime can result from the extremely low internal crack growth rate, which propagates in a vacuum-like environment in materials.

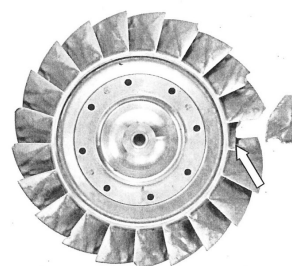
研究分野：材料強度学

キーワード：ギガサイクル疲労 内部起点型破壊 真空 放射光 き裂進展

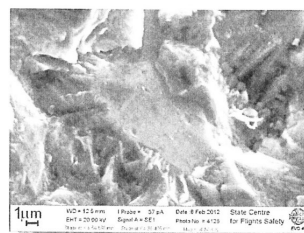
1. 研究開始当初の背景

近年、超高張力鋼やチタン合金などの高強度材料が、 10^7 回を超える繰返し領域において、静的強度から期待されるより低応力で破壊する現象(超高サイクル疲労)が広く知られるようになった。図1はガスタービンエンジンTA12-60(Aerosila製)のチタン合金製ファンディスクブレードに生じた破壊事例である。調査の結果、破壊はディスク材料の内部組織($10\mu\text{m}$ 程度の α 粒)に発生した疲労き裂の進展によって生じたこと、破断繰返し数は 10^9 回程度と推定されることなどが公表された[A.Shanyavskiy, VHCF-7, 2017]。このような破壊事例は、高強度金属材料に 10^7 回までの疲労強度を基準とする従来の疲労設計がもはや適用できない危険性を示している。現在では、図2に示すように同一材料内で表面破壊のS-N曲線と内部破壊のS-N曲線がずれた位置にあり、低応力超高サイクル域で表面から内部へ破壊モードが遷移するために生じると認識されている[T.Sakai, et al., Int J Fatigue, 2016]。したがって、超高サイクル疲労の評価法や防止法を構築するには内部破壊機構を解明することが重要な課題となる。

超高サイクル疲労の特異性は、①内部破壊の疲労寿命はなぜ表面破壊の疲労寿命より長いのか、②内部破壊の疲労強度はなぜ表面破壊の疲労強度より低いのか、の2点に集約される。①に対しては内部き裂の発生寿命や進展速度を、②に対しては内部き裂の発生限界応力や停留限界条件(下限応力拡大係数範囲 ΔK_{th} やき裂閉口挙動)を求める必要がある。疲労過程の大部分は微小き裂の振る舞いによって決まるため、これらを求めるには数~数十 μm の極めて小さな内部き裂を観察しなければならない。しかし、一般のX線CTイメージングや超音波イメージングではこのような微小き裂の検出は困難であり、内部破壊機構はほとんど明らかにされていない。



(a) 全景



(b) 起点付近の破面 (内部の α 粒)

図1 チタン合金製ファンディスクブレードの破壊

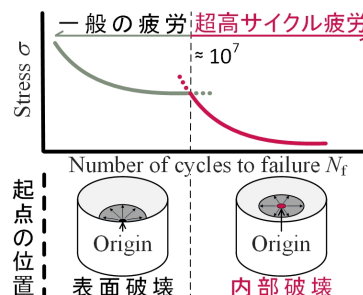


図2 S-N曲線と表面および内部破壊

2. 研究の目的

本研究の目的は、内部き裂を非破壊で観察する手法を確立し、そのメカニズム解明に取り組むことにある。大型放射光施設 SPring-8 にて、従来から提供されている投影型 CT (空間分解能 $1\mu\text{m}$ 程度、以下 micro-CT) に加え、現在開発が行われている位相コントラスト X 線結像 CT (空間分解能 100nm 程度、以下 nano-CT) を最適化し、数~数十 μm の内部疲労き裂の検出を試みる。可搬型軸荷重疲労試験機を SPring-8 に持ち込み、疲労試験と CT 観察を繰返し、内部微小き裂の発生・進展挙動を明らかにする。

本研究の第一の特徴は、SEM に匹敵する分解能で材料組織の 3D/4D イメージングを実現する nano-CT (図3) を導入し、本研究目的のために最適化することにある。この取組みにより、数~数十 μm という極めて小さな内部き裂の発生進展挙動や内部き裂先端近傍の変形を計測する技術の開発を行う。

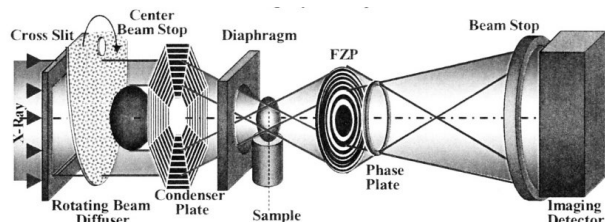


図3 位相コントラスト X 線結像 CT (nano-CT) の光学系

本研究の第二の特徴は、内部微小き裂の挙動と各種真空圧力下における表面微小き裂の挙動を比較することで、内部き裂内の空間の雰囲気と同定することにある。内部き裂は大気から遮断されているため、その空間の雰囲気は、真空中に類似した環境と考えられる。この内部き裂先端の雰囲気が特定できれば、それを再現したチャンバー内の疲労試験によって大学の実験室

レベルでの内部破壊評価が可能となり、種々の材料の超高サイクル疲労特性評価に貢献できる。

3. 研究の方法

前述した研究の目的を達成するために、以下に示す(a)~(c)の3項目を実施した。

(a) nano-CTによる微小疲労き裂撮像および解析技術の構築

- (b) micro-CT および nano-CT による内部き裂発生・進展プロセスの解明
- (c) 異なる真空環境における表面き裂発生・進展プロセスの解明

(a)については、現在、SPring-8のビームラインBL20XUで開発が進められている nano-CT を用いる。しかし、現在のシステムでは一回の撮像に数時間を要するため、疲労試験と nano-CT イメージングを多数繰返す本研究に適用するのは難しい。そこで、照明用位相コンデンサと位相コントラスト位相板を最適化し、短時間で SEM レベルのイメージングが可能なシステムを開発する。(b)については、X線の透過量を十分確保しつつ、高い精度で繰返し負荷が可能な小径の試験片が必要となる。このため、直径0.5~0.7mm程度の小型試験片の加工技術、疲労試験技術を確立し、実験に供する。(c)については、本研究室が所有する超高真空疲労試験機を用いて、異なる真空圧力中で表面き裂の進展試験を行う。これをSPring-8で取得する内部き裂の進展速度と比較することで、内部き裂周囲の環境がどの程度の真空圧力に相当するかを明らかにする。

4. 研究成果

研究の目的で示した3つの項目に関して得られた成果を以下に述べる。

【項目(a)】 従来の micro-CT と本研究で導入する nano-CT を随時切り替えることで「試験片内に発生する内部き裂の探索⇒対象とするき裂の詳細観察」を短時間(数十分程度)で効率よく行える手法を構築した。

【項目(b)】 項目(a)で開発したシステムを用いて Ti-6Al-4V および SUS630 に発生する微小き裂の観察を行った。図4に Ti-6Al-4V の内部に発生した内部き裂の nano-CT 画像を示す。き裂と周囲の組織が明瞭に観察され、特に内部き裂は α 粒に発生し、荷重軸と 45° に近い角度で傾いていることが明らかとなった。このことは内部き裂の発生が α 粒内のすべりによって誘起されたことを示唆している。一方、図5は SUS630 の試験片表面に接する介在物に発生したき裂の micro-CT による画像である。介在物から微小き裂が発生した様子を明瞭に捉えることができた。鉄鋼材料の場合には、X線エネルギーに関わる技術的課題により nano-CT による観察はまだ実現されていないが、図5から判断すると、micro-CT でも十分な解像度でき裂発生を検出できることが示された。

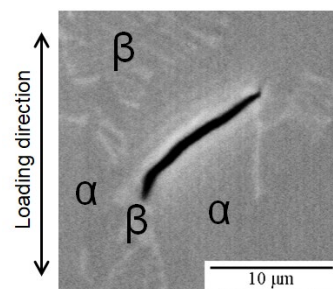


図4 nano-CTにより撮像した内部き裂。(α+β)型Ti-6Al-4V.

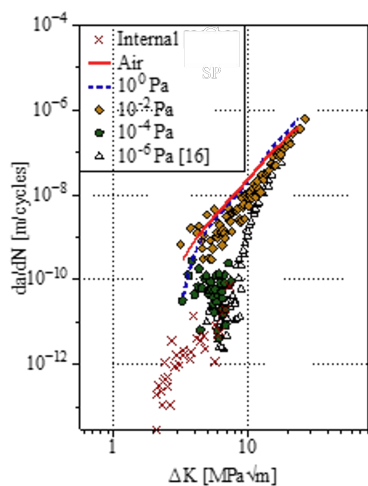


図6 異なる真空圧力におけるき裂進展速度。(α+β)型Ti-6Al-4V.

今後、この観察方法を応用することで、SUS630についても内部き裂発生挙動を明らかにできると考える。

以上の撮像手法を用いて Ti-6Al-4V における内部き裂の初期進展過程を観察した結果、微小内部き裂の進展速度の計測に成功した。図6にその結果(×印)を、後述する種々の真空圧力でのき裂進展速度と併せて示す。内部き裂の進展速度は $10^{-13} \sim 10^{-11}$ m/cycle という極めて低速な値であることが明らかとなった。

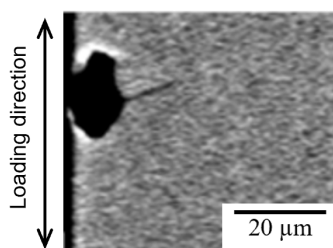


図5 micro-CTにより撮像した表面き裂。SUS630.

【項目(c)】 Ti-6Al-4V を対象に種々の真空圧力中で表面き裂の進展試験を行った結果、真空圧力が低くなるほどき裂進展速度は低下することがわかった(図6)。さらに、内部き裂の進展速度は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ Pa の真空圧力におけるき裂進展速度とほぼ一致し、内部き裂内の環境は高真空レベルにあることが明らかとなった。このことは内部き裂の

進展を高真空中の表面き裂の進展挙動から類推できることを示しており、強度評価上、重要な知見である。

以上のように、本研究により内部き裂の発生・進展機構に関する有益な成果を得ることができた。本研究課題は2018~2021年度の4年間で行う計画であったが、別途申請した課題(21H04529, 超高サイクル疲労における内部起点型破壊評価手法の確立)が最終年度の前年度応募に採択されたため、1年前倒しで研究期間が終了した。今後はこの後継課題を通じて、超高サイクル疲労機構の解明と強度評価法の開発をさらに発展させていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Xue Gaoge, Nakamura Takashi, Fujimura Nao, Takahashi Kosuke, Oguma Hiroyuki	4. 巻 11-131
2. 論文標題 Initiation and Propagation Processes of Internal Fatigue Cracks in Titanium Alloy Based on Fractographic Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1 - 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11010131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yoshinaka Fumiyoshi, Xue Gaoge, Fujimura Nao, Nakamura Takashi	4. 巻 142
2. 論文標題 Effect of vacuum pressure on small crack propagation in Ti-6Al-4V	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 105961-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijfatigue.2020.105961	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura Takashi, Fujimura Nao, Tomoda Yuta, Xue Gaoge, Yoshinaka Fumiyoshi, Takeuchi Akihisa, Uesugi Masayuki, Uesugi Kentaro	4. 巻 -
2. 論文標題 Detection of small internal fatigue cracks of Ti-6Al-4V in the very high cycle regime via synchrotron radiation nanocomputed tomography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 8th Engineering Integrity Society International Conference on Durability & Fatigue, 2021	6. 最初と最後の頁 349-357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takeuchi Akihisa, Suzuki Yoshio	4. 巻 69
2. 論文標題 Recent progress in synchrotron radiation 3D-4D nano-imaging based on X-ray full-field microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 259-279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfaa022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeuchi Akihisa, Uesugi Kentaro, Uesugi Masayuki, Toda Hiroyuki, Hirayama Kyosuke, Shimizu Kazuyuki, Matsuo Koichi, Nakamura Takashi	4. 巻 92
2. 論文標題 High-energy x-ray nanotomography introducing an apodization Fresnel zone plate objective lens	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 023701-1 - 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0020293	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 古谷佳之	4. 巻 106
2. 論文標題 SCM440鋼のギガサイクル疲労特性に及ぼすMnSの影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 799-806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2020-051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshinaka Fumiyoshi, Nakamura Takashi, Takeuchi Akihisa, Uesugi Masayuki, Uesugi Kentaro	4. 巻 42
2. 論文標題 Initiation and growth behaviour of small internal fatigue cracks in Ti 6Al 4V via synchrotron radiation microcomputed tomography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures	6. 最初と最後の頁 2093 ~ 2105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ffe.13085	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Takashi, Yoshinaka Fumiyoshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effects of vacuum-like environment on small internal crack growth processes in very high cycle fatigue	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Procedia Structural Integrity	6. 最初と最後の頁 978 ~ 985
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.prostr.2019.07.079	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 古谷 佳之	4. 巻 105
2. 論文標題 高強度鋼の10 ⁸ 回ギガサイクル疲労特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 1173 ~ 1178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2019-071	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉中 奎貴、中村孝	4. 巻 67
2. 論文標題 放射光X線CTによるTi-6Al-4Vにおける超高サイクル疲労過程の観察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 チタン	6. 最初と最後の頁 184 ~ 188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村孝	4. 巻 -
2. 論文標題 放射光顕微CTによる内部微小疲労き裂発生・進展過程の観察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本材料学会第68期学術講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 231-232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 友田悠太, 中村孝, 藤村奈央, 吉中奎貴, 小熊博幸, 竹内晃久, 上相真之, 上杉健太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 Ti-6Al-4V における表面および内部微小疲労き裂の開閉口挙動	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本材料学会第68期学術講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 77-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 塚越拓摩, 石原梨沙, Paras Mehendiratta, 中村孝, 藤村奈央, 高橋航圭	4. 巻 -
2. 論文標題 大気および真空環境における微小疲労き裂の進展・停留挙動	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本材料学会第68期学術講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 87-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 ソラブ クマール モディ, メヘンディラッタバラス, 塚越 拓摩, 中村 孝, 藤村 奈央, 高橋 航圭	4. 巻 -
2. 論文標題 真空環境下におけるき裂進展速度に基づく内部き裂の疲労寿命推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス 講演論文集	6. 最初と最後の頁 PS25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 今 佑宇真, 中村 孝, 藤村 奈央, 吉中 奎貴, 高橋 航圭, 竹内 晃久, 上梶 真之, 上杉 健太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 放射光顕微CT による高強度金属内部の高分解能非破壊観察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス 講演論文集	6. 最初と最後の頁 PS24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 薛 高格, 藤村 奈央, 中村 孝, 小熊 博幸, 高橋 航圭	4. 巻 -
2. 論文標題 破面解析に基づくTi-22V-4Al 合金における内部疲労き裂の発生・進展過程	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス 講演論文集	6. 最初と最後の頁 0S0908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村 孝, 友田 悠太, 藤村 奈央, 吉中 奎貴, 小熊 博幸, 竹内 晃久, 上相 真之, 上杉 健太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 放射光顕微CT によるTi-6Al-4V の内部疲労き裂発生過程	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス 講演論文集	6. 最初と最後の頁 0S0909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 古谷 佳之	4. 巻 -
2. 論文標題 高強度鋼の超高サイクル疲労における疲労限	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス 講演論文集	6. 最初と最後の頁 0S0901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小熊博幸	4. 巻 -
2. 論文標題 チタン合金の内部起点型疲労破壊における特異な破面領域形成に及ぼす影響因子	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本材料学会第68期学術講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 281-282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小熊 博幸	4. 巻 -
2. 論文標題 Ti6Al4V 合金の内部起点型疲労破壊における特異な破面領域の形成機構と組織との相関	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス 講演論文集	6. 最初と最後の頁 0S0910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Furuya	4. 巻 743
2. 論文標題 A new model for predicting the gigacycle fatigue strength of high-strength steels	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science & Engineering A	6. 最初と最後の頁 445-452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2018.11.109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Masayuki Uesugi, Fumiyoshi Yoshinaka and Takashi Nakamura	4. 巻 24
2. 論文標題 Nondestructive Multiscale X-Ray Tomography by Combining Microtomography and High-Energy Phase-Contrast Nanotomography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy and Microanalysis	6. 最初と最後の頁 106-107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1431927618012928	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Paras Mehendiratta, Risa Ishihara, Takashi Nakamura, Nao Fujimura, Kosuke Takahashi	4. 巻 1
2. 論文標題 Effects of vacuum environment on the fatigue crack growth properties of high strength steel - behavior of long crack by K decreasing test -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会M&M2018材料力学カンファレンス 講演論文集	6. 最初と最後の頁 0S0801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石原梨沙, メヘンディラッタ パラス, 中村孝, 藤村奈央, 高橋航主	4. 巻 1
2. 論文標題 高強度鋼の疲労き裂進展特性に及ぼす真空環境の影響ー K漸増試験による微小き裂の挙動ー	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会M&M2018材料力学カンファレンス 講演論文集	6. 最初と最後の頁 0S0802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 G. Xue, F. Yoshinaka, N. Fujimura, K. Takahashi and T. Nakamura
2. 発表標題 A Study of Vacuum Pressure Effect on Small Surface Crack Propagation in Ti-6Al-4V
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森下弘法, 中村孝, 藤村奈央, 高橋航圭
2. 発表標題 微小内部き裂の発生・進展挙動に基づく + 型チタン合金の疲労寿命分布解析
3. 学会等名 日本材料学会 第69期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Nakamura, N. Fujimura, Y. Tomoda, G. Xue, F. Yoshinaka, A. Takeuchi, M. Uesugi, K. Uesugi
2. 発表標題 Detection of small internal fatigue cracks of Ti-6Al-4V in the very high cycle regime via synchrotron radiation nanocomputed tomography
3. 学会等名 Fatigue 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 G. Xue, T. Nakamura, N. Fujimura, K. Takahashi, H. Oguma
2. 発表標題 A fractographic study of the initiation and propagation progress of internal fatigue cracks in Ti-22V-4Al with different alpha-phase precipitation
3. 学会等名 Fatigue 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内晃久
2. 発表標題 放射光を用いるX線マイクロCTの基礎と最前線
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takashi Nakamura
2. 発表標題 Initiation and growth behavior of small internal fatigue cracks in Ti-6Al-4V via synchrotron radiation micro computed tomography
3. 学会等名 International Symposium on: Advances in Fatigue and Fracture, Celebrating the 40th Anniversary of FFEMS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村孝
2. 発表標題 放射光顕微CTによる内部微小疲労き裂発生・進展過程の観察
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 友田悠太, 中村孝, 藤村奈央, 吉中奎貴, 小熊博幸, 竹内晃久, 上相真之, 上杉健太郎
2. 発表標題 Ti-6Al-4V における表面および内部微小疲労き裂の開閉口挙動
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚越拓摩, 石原梨沙, Paras Mehendiratta, 中村孝, 藤村奈央, 高橋航圭
2. 発表標題 大気および真空環境における微小疲労き裂の進展・停留挙動
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ソラブ クマール モディ, メヘンディラッタパラス, 塚越 拓摩, 中村 孝, 藤村 奈央, 高橋 航圭
2. 発表標題 真空環境下におけるき裂進展速度に基づく内部き裂の疲労寿命推定
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今 佑宇真, 中村 孝, 藤村 奈央, 吉中 奎貴, 高橋 航圭, 竹内 晃久, 上相 真之, 上杉 健太郎
2. 発表標題 放射光顕微CT による高強度金属内部の高分解能非破壊観察
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 薛 高格, 藤村 奈央, 中村 孝, 小熊 博幸, 高橋 航圭
2. 発表標題 破面解析に基づくTi-22V-4Al 合金における内部疲労き裂の発生・進展過程
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 孝, 友田 悠太, 藤村 奈央, 吉中 奎貴, 小熊 博幸, 竹内 晃久, 上相 真之, 上杉 健太郎
2. 発表標題 放射光顕微CT によるTi-6Al-4V の内部疲労き裂発生過程
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古谷佳之
2. 発表標題 高強度鋼に対する 10^{11} 回ギガサイクル疲労試験
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古谷佳之
2. 発表標題 高強度鋼の超高サイクル疲労における疲労限
3. 学会等名 日本機械学会M&M材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小熊博幸
2. 発表標題 チタン合金の内部起点型疲労破壊における特異な破面領域形成に及ぼす影響因子
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Nakamura, Fumiyoshi Yoshinaka
2. 発表標題 Effects of vacuum-like environment on small internal crack growth processes in very high cycle fatigue
3. 学会等名 2nd International Conference on Structural Integrity and Exhibition 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakamura, Fumiyoshi Yoshinaka, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Masayuki Uesugi
2. 発表標題 Initiation and propagation processes of internal fatigue cracks in Ti-6Al-4V visualized by synchrotron radiation μ CT imaging
3. 学会等名 12th International Fatigue Congress, FATIGUE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihisa Takeuchi
2. 発表標題 Nondestructive Multiscale X-Ray Tomography by Combining Microtomography and High-Energy Phase-Contrast Nanotomography
3. 学会等名 International Conference on X-Ray Microscopy (XRM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Paras Mehendiratta
2. 発表標題 Effects of vacuum environment on the fatigue crack growth properties of high strength steel - behavior of long crack by K decreasing test -
3. 学会等名 日本機械学会M&M2018材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石原梨沙
2. 発表標題 高強度鋼の疲労き裂進展特性に及ぼす真空環境の影響ー K漸増試験による微小き裂の挙動ー
3. 学会等名 日本機械学会M&M2018材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	戸田 裕之 (Toda Hiroyuki) (70293751)	九州大学・工学研究院・教授 (17102)	
研究分担者	藤村 奈央 (Fujimura Nao) (40732988)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	
研究分担者	竹内 晃久 (Takeuchi Akihisa) (70426526)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・分光・イメージング推進室・主幹研究員 (84502)	
研究分担者	上杉 健太郎 (Uesugi Kentaro) (80344399)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・分光・イメージング推進室・主席研究員 (84502)	
研究分担者	古谷 佳之 (Furuya Yoshiyuki) (60354255)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・グループリーダー (82108)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小熊 博幸 (Oguma Hiroyuki) (80515122)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・主幹研究員 (82108)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関