

2018 年 5 月 31 日

日本機械学会 イノベーションセンタ
協調領域技術懇談会

1. 経緯

2017 年度の産業競争力懇談会（COCN）のプロジェクト「学会をハブとするオープンイノベーション」において以下の提案を行った¹⁾。

- ・非競争領域、前競争領域、協調領域などで複数の企業が出資し、主に大学などの公的研究機関で研究開発を行うテーマを学会の企業会員が中心となって議論する。
- ・提案されたテーマについて、学会のネットワークで企業会員に周知し、参加企業を募るとともに、研究開発を遂行する研究機関（主に大学）を選定する。
- ・学会がハブとなって、企業、大学の研究開発部署、産学連携部署をチーミングし、研究開発を推進する。

本プロジェクトには、COCN 会員企業 8 社と日本機械学会、応用物理学会、高分子学会、土木学会が参加し、それぞれの学会に対応したワーキンググループ（WG）を構成して上記テーマの具体化を図った。

日本機械学会 WG では、イノベーションセンタ内に「協調領域技術懇談会」を設立し、強度信頼性、トライボロジーの分野で具体的な研究テーマの発掘を行った。参加企業は、コマツ、東芝、日立、三菱重工の 4 社である。まず、議論したい研究テーマを各社が提案し、その内、推進すべき研究テーマとなり得るテーマの調査を行った。また 1 件は 2018 年度の RC 分科会で推進することになった。

本報告は、2017 年度の「協調領域技術懇談会」の成果を纏めたものである。

参考文献

1) <http://www.cocn.jp/report.html>

2. 提案テーマ

強度信頼性とトライボロジーの分野で 15 件のテーマ提案を行った。次に懇談会で議論し、さらに詳しく調査するテーマ 6 件を選定した。前述のように、1 テーマを 2018 年度の RC 分科会で推進することになった。テーマの分類を表 1 に示す。

本章では、それぞれの提案テーマについて説明する。

2.1 材料力学的課題

(1) 接着メカニズムの解明

調査テーマに選定。3.1 で述べる。

(2) 応力特異場の未解決事項

応力特異場の特異性の指数は解析的に求められ、これによる強度評価が実用化している。しかし、以下の 2 点は未解決と思われる。①接着端部では特異性の指数は複素数になるが、虚数項は何を表しているのか。無視してよいのか。②破壊力学ではき裂長さを代表寸法として強度を評価できるが、例えば 開き角 90°のコーナ部の代表寸法は何か。

表 1 提案テーマ

前競争領域の研究課題	非競争領域の研究課題	
技術開発	技術開発	標準化、基準・マニュアル化
(4) シームレスなマルチスケール解析【1】 (8) 超低摩擦摺動面【3】 (13) メカニカルヒューズ【1】	(1) 接着メカニズムの解明【2】 (2) 応力特異場の未解決事項【1】 (3) 溶接残留応力の解析と評価【1】 (5) フラクトグラフィの高度化【2】 (6) 摩擦力の解明【2】 (7) 摺動シミュレーション技術【2】 (9) 傾斜機能軸受レイヤ【1】 (10) エッジロード発生部の寿命予測技術【1】 (11) FRP 疲労メカニズムの解明【2】 (12) 材料の残留強度の推定【2】	(14) 未然に防止した不具合対策の効果の見える化【1】 (15) 材料特性の短期取得方法基準【1】

レベル【1】：テーマ提案のみ

レベル【2】：テーマ候補として調査

レベル【3】：本プロジェクトの推進テーマとして RC 分科会に提案

(3) 溶接部残留応力の解析と評価

いろいろ提案されているが、それぞれどのように使えばよいのか。

(4) シームレスなマルチスケール解析

第一原理解析，分子動力学解析，連続体解析がそれぞれ工学，工業的に実用化しているが，これらをシームレスにつなげて欲しい。

(5) フラクトグラフィの高度化

調査テーマに選定。3.2 で述べる。

2.2 トライボロジー分野の課題

(6) 摩擦力の解明

調査テーマに選定。3.3 で述べる。

(7) 摺動シミュレーション技術

調査テーマに選定。3.4 で述べる。

(8) 超低摩擦摺動面

水素環境下で特定材料を摺動させることで，極めて低い摩擦係数(0.001 以下)を得る現象が，加藤ら(東大)により報告されている¹⁾。本現象は，1.4GPa 程度の高面圧に耐え，完全ドライ環境下で使用できるなど，優れた機械的特性を有する。一方，その発現要件は明確ではなく，摺動面に設ける DLC 系薄膜(厚さ数 μm)が剥離した場合には，主機能である低摩擦特性を喪失するリスクがある。摺動部を有する機械装置の運転効率を改革する概念であり，現象発現メカニズムの解明とロバスト化，薄膜剥離に対する機能安全化などの課題の解決により，工学の進歩に大いに貢献すると推察される。

本テーマは 2018 年度に RC 分科会で研究を開始することが決定した。提案書の一部を以下に示す。

①分科会名称

「産業競争力を強化する基盤技術開発のための超低摩擦表面設計手法に関する研究分科会」

②分科会設置の目的

産業界におけるグローバル化は急速に進んでおり，既往技術を活用した海外メーカによる

低コスト戦略に対抗するには、卓越した性能を有する新製品の開発が必要な状況にある。特に地球温暖化に直接影響を与える機械駆動系の摩擦損失低減技術が強く望まれているが、既成概念を覆す基盤技術の開発は、単独企業では困難となりつつある。

一方、低濃度水素などの環境下にて特定材料を摩擦材として用いることにより、極めて低い摩擦係数(0.001 以下)を得る現象が報告されている。摩擦面は 1.4GPa 程度の高面圧に耐え、完全ドライ環境下で使用できるなど、優れた機械的特性を有する。しかし、その発現要件はまだ明確ではなく、摩擦面に設ける厚さ数 μm の DLC 系薄膜が剥離した場合には、主機能である低摩擦特性を喪失するリスクがある。現象発現メカニズムの解明と、低摩擦性能のロバスト化が実現されれば、国内産業の競争力強化に大いに資すると考えられる。

そこで、機械駆動系の低摩擦損失化におけるブレークスルー基盤技術として、上記摩擦システムにおける現象発現メカニズムを明らかにするとともに、低摩擦性能を安定維持する手法を開発することを目的に、本分科会を設置したい。これらを表面設計手法として確立し、参加会社と共有することにより、国内産業の競争力強化に貢献する。

本分科会は、産業競争力懇談会 (COCON) のプロジェクト「学会をオープンイノベーション推進の場とするための方策」における議論を経て提案に至った。設置動機の一つに、ブレークスルー基盤技術の製品適用が挙げられる。これを意識したニーズの取りまとめと仮想的な性能、信頼性目標の提示を企業委員が行う。極めて高い専門性を要する基盤技術の開発は、アカデミア委員が遂行する。

(9) 傾斜機能軸受レイヤ

油潤滑下で使用されるすべり軸受では、剛性の高い母材の表面に、摺動面の摩擦低減やなじみ性向上のための軸受レイヤが積層される。軸受レイヤは塑性が容易な材料であり、変形による性能低下のきらいがある。3Dプリンタなどの技術により、しゅう動面に近い部分では軸受レイヤ材の割合を高く、離れた部分では母材の割合を高くするような傾斜材を形成することにより、課題を克服する。

(10) エッジロード発生部の寿命予測技術

ころ軸受(転がり軸受)のころ端部や、歯車歯面の端部では、接触応力にピークが生じることが以前より知られている。このような部位では、接触応力は容易に降伏応力に達するため、クラウニングなどにより、これを軽減する手法がとられている。一方、面圧の最適化などが進むことで、対象荷重を外れるとピーク応力が発生することがあり、このような場合の余寿命の推定技術が求められている。

参考文献

- 1) 野坂正隆, 加藤孝久, 水素雰囲気におけるPLC膜の摩擦フェイドアウト現象, トライボロジスト, 60巻, 10号(2015), p645-650.

2.3 破壊メカニズムの解明

(11) FRP の疲労メカニズムの解明

調査テーマに選定。3.5 で述べる。

(12) 材料の残存強度, 残存疲労寿命の推定法

調査テーマに選定。3.6 で述べる。

(13) メカニカルヒューズの開発

「それでも事故は起こる」という経験に基づいて、機械システムに電気回路と同様の力の伝播回路を想定し、異常負荷発生時に、機械を安全に停止できるヒューズを設ける。例えばFRPの強度異方性を利用して、特定の方向の負荷に対してのみ破断が起きるような部材を構造の中に設ける。

2.4 信頼性マネジメント

(14) 未然に防止した不具合対策の効果見える化

製品不具合を防止するために様々な予兆検知や不具合抽出の技術が開発されているが、潜在的で想定外な不具合を未然に抽出して防いだ場合、傍目には何も起きていない様に見えるので、効果が見積もるとマッチポンプ的になり説得力に欠けるので、客観的かつ定量的に効果を評価する技術が欲しい（学会や大学など社外権威の力が必要と考える）。

現状：火事の消火 ⇒ 消防士（職業）

将来：火事の未然防止 ⇒ 街のボランティア？

(15) 材料特性の短期間取得

IoT化などにより信頼性の評価が必要な材料や構造が増加している。また、製品の長寿命化が進むと、長期使用後の材料特性が必要となる。従来の材料試験方法では、これらの課題に対して時間的・コスト的に対応できず、設計に必要な材料特性を揃えることが難しくなる。特に、疲労、クリープ、腐食など、現状では長期間の試験を要する特性を短期間に取得する技術が必要である（試験方法、加速係数の理論的導出、シミュレーションによる物性取得、データベース構築、など）。特に、複合材、結合材、薄膜などの材料特性を短時間で取得する加速試験法開発の取り組みについては個別に行われており、従来試験との互換性を担保した学会標準の統一的加速試験法の開発が望まれる。

3. 調査テーマ

協調領域の技術として、以下の6テーマを選定し、技術調査を行った。

3.1 接着メカニズムの解明

(1) 提案理由

接着のメカニズムは未だにオーソライズされておらず、化学結合説、物理的吸着説、アンカー効果説、静電気説などが知られており、実際にはこれらの複合現象とされている。短期間での総合的なメカニズム解明は困難であると思われるが、それぞれの物理現象からのアプローチの深堀、相互作用の解明などの研究により、真のメカニズムに迫る。特に工業界で多用されている金属と樹脂（接着剤、充填材、モールド材、塗料など）との接着のメカニズム解明に重点を置く。

担当：コマツ、東芝

(2) 調査結果

接着のメカニズム解明を専門に行っている研究者は、見当たらなかった。接着し難い材料を接着するための表面処理方法に関する研究を行っている研究者は、大学の他に、企業に在籍している研究者が、接着設計や耐久性評価¹⁾について研究している。

接着のメカニズムに関しては、①機械的結合（アンカー効果）、②物理的相互作用（分子間力）、③化学的相互作用（一次結合力）により、特に分子間力が基本であると言われている²⁾。

機械的結合（アンカー効果）が主な接着の例として、PTFE/鉄の接着において、アルゴンプラズマで、PTFE表面を粗面化した研究³⁾がある。物理的相互作用（分子間力）が主な接着の例として、やもりの足裏をモデルとしたヤモリテープがある⁴⁾。ファンデルワールス力による分子間力を発現させ、接着するためには、接着されるもの同士の距離は、約5Åくらいと言われている⁵⁾。化学的相互作用（一次結合力）が主な接着の例として、ガラスマットとガラスクロスにシランカップリング剤を使って接着する方法がある⁶⁾。

接着剤は材質から①無機系接着剤、②有機系接着剤に分けられる⁷⁾。

①無機系接着剤：有機系では耐えられない高温（1000℃以上）に耐えるが、硬く脆く衝撃に弱い欠点がある。用途としては、ミサイル先端のセラミック板の接着、高層ビルの鉄骨耐火被覆板の接着などがある。

②有機系接着剤：通常の接着剤はほぼ有機系接着剤で、熱可塑性材、熱硬化性材、エラストマー（弾性体）に分類される。

(3) 関係技術分野における研究者

①東京工業大学 科学技術創成研究院 佐藤千明 准教授

CFRPを用いた軽量車体の開発や、紫外線硬化接着剤の硬化過程における収縮と残留応力発生メカニズムの研究などを実施。接合技術全般について産学連携を行っている。繊維強化ポリプロピレンと金属との溶接力を、表面エッチング処理により増すことができることを示した論文⁸⁾、熱可塑性プラスチックと金属の接着面における、熱応力の影響を考慮したき裂エネルギー開放率の評価方法を提案した論文⁹⁾など、接着技術を幅広く研究している。

②兵庫県立大学 高分子材料工学研究室 岸肇 教授

高分子の設計・合成や、ポリマーブレンド、繊維強化、ナノコンポジット等複合化の研究を行っている。材料の応用展開や、物性発現機構を解析する基礎研究も行っている。アクリル共重合体を利用した接着剤により、炭素繊維とアクリルの接着が改善することを示した論文¹⁰⁾や、異種高分子多層成形体において層間の官能基量が剥離接着強さに与える影響を検証し、界面近傍のPEの塑性変形が重要であることを示した論文など¹¹⁾、接着現象を分子状態から説明する研究等を行っている。

参考文献

- 1) 原賀康介, 信頼性の高い接着設計のための基本条件と耐久性評価法, 日本接着学会誌, Vol.43, No.8, (2007), p.20-25
- 2) <http://www.cemedine.co.jp/basic/mechanism.html>
- 3) 藤井政徳, 上林裕之, 下浦斎, PTFEと金属の接着技術の開発, 三菱電線工業技報, 第99号 (2002), p.78-84.
- 4) 前野洋平, カーボンナノチューブを用いたヤモリテープ, 日東電工技報, 90号, Vol.47, (2009), p.48-51
- 5) http://www.bond.co.jp/bond/common/support/pdf/bondbook/bonding_04-05.pdf
- 6) http://www.dowcorning.co.jp/ja_JP/content/japan/japanproducts/Z003_silane_coupling_agents.pdf
- 7) http://www.bond.co.jp/bond/common/support/pdf/bondbook/bonding_all.pdf

- 8) K. Shimamoto, Y. Sekiguchi, C. Sato, Effects of surface treatment on the critical energy release rates of welded joints between glass fiber reinforced polypropylene and a metal, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 67, pp. 31-37, (2016)
- 9) K. Shimamoto, Y. Sekiguchi, C. Sato, The critical energy release rate of welded joints between fiber-reinforced thermoplastics and metals when thermal residual stress is considered, *The Journal of Adhesion*, Vol. 92, pp306-318, (2016)
- 10) Hajime Kishi, Nozomu Nakao, Shiho Kuwashiro, Satoshi Matsuda, Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composites from Acrylic Polymer Matrices: Interfacial Adhesion and Physical Properties, *Express Polymer Letters*, 11, 4, 334-342 (2017)
- 11) 坂木博之, 松田聡, 岸肇, PP/PE 多層成形における剥離接着強さ発現メカニズムー界面接着性向上に伴うバルク樹脂の変形モード変化ー, *日本接着学会誌*, 48, 2, 58-62 (2012)

3.2 フラクトグラフィの高度化

(1) 提案理由

ストライエーションから破壊時の応力拡大係数、さらには作用していた荷重を推定したり、脆性破壊のリブマーク、ハックルマークによる破壊起点特定などでフラクトグラフィは役立っているが、さらに進化させ、破面から破壊時に何が起こったか特定できるようにしたい。実験的でなく、理論的な研究はできないか。

担当：コマツ、三菱重工

(2) 調査結果

破面解析技術の変遷を図 1 に示す。破面解析技術は、1970 年代に SEM の実用化に伴い、各種破壊モードのリファレンス破面データとその形成機構が整理され破壊研究や事故解析技術として定着し、破壊モードと破壊起点位置の推定が可能となった。1980 年代には、ステレオカメラ等により 3D 立体像の構築が可能となり、破面の特徴がより明確に判別でき 3D 破面から破壊様相をシミュレーション（フラクタル解析）できるようになった。1990 年代には、AFM やレーザー顕微鏡が使用されるようになり、より精細な立体解析が可能になった。2000 年代に入ると、画像の空間パターンを数値化して解析するテクスチャ解析や、幾何学的不規則性を定量評価するフラクタル解析が進展してきた。

学会の破面解析技術に関する取り組みとしては、日本材料学会においてフラクトグラフィ部門委員会が 1973 年より破損解析事例の紹介、破面データ集を作成し、解析技術の伝承や、フラクタル解析技術の研究を実施している。日本機械学会においては、1998～2000 年に数値的破面解析法に関する研究分科会（材料力学部門 P-SC304）において、破面形状の数値データを用いた損傷形態や応力の定量的推定方法の検討を実施した。

実態破面は酸化や潰れ等により、破面解析が困難になることが多い。また、鋳物材料や超合金は損傷モードによらず、似た破面表面の模様を呈するため、破面解析が困難となっている。この問題に対し、破面直下の組織を EBSD で定量評価することで、損傷モードの同定や作用応力の推定ができる可能性がある。2013 年頃、中部電力が GT 翼（Ni 基超合金）を主な対象とした EBSD 破面解析技術を開発し、実機適用を進めている。しかし、Ni 基以外の材料に対しては、その手法の有効性は十分には確認されていない。破面データを蓄積して、EBSD の適用範囲を広げることは、製品のトラブル防止に貢献すると考えられる。

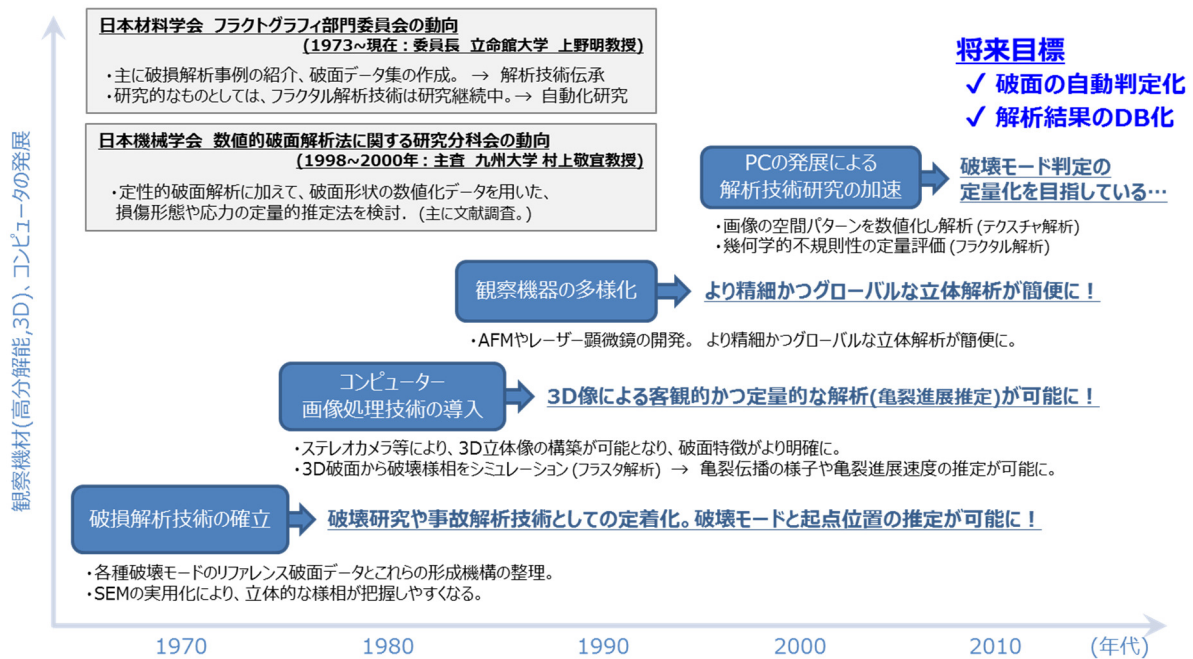


図1 破面解析技術の変遷

破面解析で、損傷モードを特定し、作用応力範囲や応力比などを推定するには、相応の知識と経験が必要となる。この問題に対し、近年急速に発展を続けているAI・機械学習技術を用いることで、破面が有する特徴量を自動的に抽出することができる技術開発²³⁾が進められている。破面のSEMの画素ラインのデータからリカレンスプロットを作成し、それを多数学習させることにより、破面特徴の自動抽出が可能である。本技術により、ベテラン不足による破面解析の質低下を回避することが期待される。また、テクスチャ解析、フラクタル解析、フーリエ変換やFRASTA⁴⁵⁾等の解析技術を用いた、定量的な自動解析技術の構築も課題となっている。また、いくつかの新しい手法の適用も研究されている^{6)~9)}。

Ti-Al 基合金、マグネシウム合金、複合材材料、セラミックス、AM (3Dプリンティング) などの新材料では、産学ともに十分な破面データが蓄積されておらず、参考となる書籍・論文などの文献も少ないため、事故時の破面解析に課題がある。こういった問題に対し、新材料の破面データの蓄積・データベース化を行うことで、対策や材料設計の合理化への貢献が期待できる。

(3) 実行テーマ化への課題

フラクトグラフィが用いられるのは、主に事故解析のときであるが、技術が属人化している。そこで、AIなどを活用した破面解析の自動化が一つのターゲットとなる。また、フラクタル解析やテクスチャ解析の応用も研究されているが、これも主に破面解析の自動化が目的である。鉄鋼材料などは多くの破面知識が存在するが、新材料の破面解析は事例が少なく、課題となっている。

参考文献

- 1) <http://www.jsms.jp/kaikoku/ebsdkoshu.htm>
- 2) <https://www.jst.go.jp/tt/fair/ij2017/exhibitor/jss20170384.html>

- 3) <http://research-db.ritsumei.ac.jp/Profiles/62/0006143/profile.html>
- 4) 藤原昌晴, 服部孝博, 最近のフラクトグラフィとその応用 5. 事故解析技術—FRASTA および破面粗さからの応力推定—, 材料, 47 巻, 10 号 (1998) p.1088 - 1092.
- 5) 中馬康晴, 山内雅文, FRASTA 法による定量的破面解析法の開発, 三菱重工技報, 34 巻, 4 号 (1997) p.292-295.
- 6) 酒井孝, 酒井達雄, 上野明, フラクタル特性に基づく金属疲労破面性状の破壊力学的考察, 日本機械学会論文集 (A 編), 66 巻, 652 号 (2000) p.2183-2190.
- 7) 小池宏侑, 大根田明由, 金属材料の破壊形態の定量化に関する研究, 栃木県産業技術センター研究報告, 12 号(2015) p.108-111.
- 8) 山際謙太, 泉聡志, 酒井信介, ウェーブレット変換を用いた疲労破面のストライエーション領域同定手法, 材料, 53 巻, 3 号, (2004) p.1-7.
- 9) 岡村弘之, 破面立体構造解析システムの開発と三次元フラクトグラフィの提唱, https://kaken.nii.ac.jp/report/KAKENHI-PROJECT-08555028/085550281997kenkyu_se.

3.3 摩擦力の解明

(1) 提案理由

現状、摩擦力・摩擦係数を予測する技術は力学により議論できる流体潤滑軸受、転がり軸受の一部等に限定され、固体接触を伴う摺動面で生ずる摩擦力についての予測は困難で、実験で確認する必要がある。これは表面状態そのもの、また摺動面で発生する事象が複雑かつ多種にわたること、現状では適切なモデルを定義困難であることに起因する。一方、製品のエネルギー消費低減、動作信頼性確保の観点より、摩擦力の予測、並びに低減に対するニーズは大きいと考える。

担当：三菱重工、日立

(2) 調査結果

日本トライボロジー学会編のトライボロジー辞典によると、摩擦とは「接触する二つの物体が、外力の作用の下ですべりや転がり運動をするとき、あるいは使用とするときに、その接触面においてそれらの運動を妨げる方向の力が生ずる現象」と説明されている¹⁾。また、摩擦係数は「摩擦力を垂直荷重で割った値。いろいろな潤滑領域での摩擦があるため、特に特定のメカニズムと対応する概念ではない」と説明されている¹⁾。摩擦は運動を妨げる方向の力を生じる現象とまではいえるが、そのメカニズムは多様であり、一概に定義することは困難であるというのが現在に至る学会の捉え方である。

摩擦力の発生メカニズムを極力一般化する試みとして、粗さ表面同士の接触における真実接触部の形成、並びに真実接触部で生じる二表面間の凝着、表面の掘り起こし、塑性変形、弾性ヒステリシス、静電気等により説明がなされてきており、一般の加工表面において影響が大きいのは凝着と考えられている²⁾。相対する 2 固体表面の原子間距離に応じて生じる引力を源とする凝着説およびその発展でもある接触点成長理論は、20 世紀半ばに Bowden and Tabor らにより基本理論の構築とその検証がなされ³⁾、それらは現在でもある程度は共通認識であるといえる。

凝着は、純物質同士の摺動でその影響が増加すると考えられ、実験検証がなされてきた。例えば、摺動界面における異物、酸素、水蒸気等の影響を排した高度に清浄な銅表面同士を

摺動させる実験で、摩擦係数は20から最大100以上にも達した⁴⁾。また、同じく銅表面同士を高真空環境で摺動させる実験で、摩擦係数が1以上になることも実証されている⁵⁾。一方で、これらの取り組みは、同様に潤滑材を用いず銅を摺動した場合であっても、周囲の雰囲気およびそれによる表面の清浄度の極わずかな違いにより摩擦係数が2桁以上変化してしまうことを示している。大気中では無潤滑といえども表面に多種の酸化物が形成され、気体分子や有機物の吸着も生じることが知られている⁶⁾⁷⁾。凝着という1メカニズムを取り上げても、その表面状態の同定が困難であることが、摺動界面のせん断強度の決定、並びに摩擦力発生モデル化の課題と考えられている¹⁾⁶⁾⁷⁾。

近年の研究においては、摩擦力の全貌解明とはいかずとも、部分的な表面状態の同定、シンプルな表面状態の形成を通じた摩擦力メカニズムの議論が見られる。これらは新たな材料や表面処理の開発に伴う従来に無い摩擦挙動の発見、並びに表面分析技術やシミュレーション技術の進歩等による。

特にDLC(Diamond-like Carbon)等の炭素被膜表面における新低摩擦挙動の報告が目立つ。米仏での”Super lubricity”の研究では、水素を多量に含む炭素被膜を真空中、窒素中、水素中で摩擦し、摩擦係数 10^{-3} を報告している。表面分析の結果、摺動界面はC-H結合で水素終端した表面同士が摩擦する状態となっていることが判明した。これより、摩擦係数減少のメカニズムについては、界面が水素同士の摩擦となり、弱いファンデルワールス力が摩擦力の源となること、また、プラスに荷電した水素同士の反発力が表面間の凝着を弱めることを考察している⁸⁾。

また、炭素被膜の別の形態では、 SiO_2 上にグラフェンとナノダイヤモンドを分散させた表面をDLCに対して乾燥窒素中で摩擦した実験で、摩擦係数 10^{-3} を報告している。この形態においては摺動中にナノダイヤモンドがグラフェンに巻かれた”nano-scroll”の状態となることを透過電子顕微鏡による観察と、分子シミュレーションにより確認している。そして、このnano-scrollが摺動面間に介在することにより真実接触面積が減少し、界面のせん断強度が低下すると考察している⁹⁾。

さらに前項に記載の通り、炭素被膜に対する相手材を ZrO_2 に特定し、これを微量の水分やエタノール、酢酸等を含む水素中で摺動させた実験で、摩擦係数 10^{-4} を得たことが報告されている¹⁰⁾。摺動面に形成されたトライボフィルムの観察・分析の結果、トライボフィルムと雰囲気中の活性OH基の反応による飽和炭化水素層(ガス潤滑層)の形成、そしてこの層の低せん断性により超低摩擦が発現するメカニズムを考察している。

(3) 日本における摩擦力解明に関する研究者

①青山学院大学 理工学部 松川 宏 教授

摩擦力に関して研究を長年行っており、摩擦に関する著書、論文を多数発表している¹¹⁾。実験による検証から、通常のアモントン・クーロンの法則(摩擦力は見かけの接触面積に依存しない、摩擦力は荷重に比例する)に替わる新しい普遍的な法則を提唱している¹²⁾。

②横浜国立大学 大学院環境情報研究員 人口環境と情報部門 中野 健 教授¹³⁾

松川教授と共同で、摩擦力の研究を遂行している。トライボとダイナミクスの融合領域が主な研究領域である。

③電気通信大学 先進理工学科 鈴木 勝 教授¹⁴⁾

近年の科学技術の発展により、摩擦現象に対して原子・分子レベルの観察が可能となって

きている。そこで、電気通信大学でそのような摩擦研究・教育の拠点とすべく、「ナノトライボロジー研究センター」を、2014年6月に設立している¹⁵⁾。

上記センターの構成員の1人である鈴木勝教授の研究室では、摩擦のメカニズムに対してミクロな視点から観察を行い、ひいては摩擦現象の解明につなげることを目的として、ヘリウム吸着膜の摩擦についてミクロスケールでの摩擦現象の観察・測定を行っている。これは、吸着膜がついた状態では、実際の材料と比較して材料の表面状態をはっきりと決めることができ、分子スケールの摩擦メカニズムが明らかになるだろうと考えられるからである。しかし金属基板上の吸着膜の摩擦量は大きく、精密な測定が困難であったことから、分子間力が弱く滑り摩擦が小さいことが期待される He 吸着膜と、典型的な吸着基盤であるグラファイト基板を用いて、研究を行っている。本研究から He 吸着膜の摩擦は層構造や温度、外力の振幅により変化することが示され、そのメカニズムについて考察している¹⁶⁾。

(4) 実行テーマ化への課題

摩擦力の発生メカニズムは、摺動表面状態の同定の困難さもあって、全貌解明への道のは遠い。しかし、表面被膜形成技術の進歩と分子シミュレーション技術等によりシンプル化した表面状態の形成とモデル化検討が可能となっており、炭素被膜など部分的には摩擦メカニズムの解明が進んでいる。炭素被膜は低摩擦技術として自動車や磁気ディスク等で実用化されており、メカニズム解明の成果とともに更なる低摩擦化、応用範囲の拡大が期待される。また、酸素や水蒸気等、周囲雰囲気気体が表面の炭素に及ぼす影響の解明は、炭素被膜に限らず、一般金属や樹脂材料への応用、新たな潤滑方法の開発という面でも期待がもたれ、引き続き諸研究機関と議論を深める価値がある。

参考文献

- 1) 日本トライボロジー学会編, トライボロジー辞典 (1995), 養賢堂.
- 2) 似内昭夫 著, 技術者のためのトライボロジー (2015), 潤滑通信社.
- 3) F. P. Bowden and D. Tabor 著, 曾田範宗 訳, 固体の摩擦と潤滑 (1961), 丸善.
- 4) 木村好次, 還元金属表面の摩擦について, 潤滑, Vol. 9-6 (1964) 475.
- 5) D, H, Buckley, Friction, Wear and Lubrication in Vacuum, NASA SP-277 (1971).
- 6) 木村好次, 摩擦係数の謎, トライボロジスト, Vol. 47-4 (2002) 236-241.
- 7) 新田勇, 加藤康司, 接触と摩擦の理論, トライボロジスト, Vol. 45-12 (2000) 864-869.
- 8) C. Donnet and A. Erdemir Ed, An Overview of Superlubricity in Diamond-like Carbon Films, Tribology of Diamond-like Carbon Films, Springer, US, (2008) 237-261.
- 9) D. Berman et.al., Macroscale superlubricity enabled by graphene nanoscroll formation, SCIENCE, Vol. 348-6239 (2015) 1118-1122.
- 10) 野坂正隆, 加藤孝久, 水素雰囲気中における PLC 膜の摩擦フェイドアウト現象, トライボロジスト, Vol. 60-10 (2015) 645-650.
- 11) <http://raweb1.jm.aoyama.ac.jp/aguhp/KgApp?kojinId=ahajdd>
- 12) <http://www.phys.aoyama.ac.jp/~w3-matsu/News140912v2.pdf>
- 13) http://er-web.jmk.ynu.ac.jp/html/NAKANO_Ken/ja.html
- 14) <http://ns.phys.uec.ac.jp/research/research.html>
- 15) <http://www.uec.ac.jp/facilities/research/nrc/>

3.4 摺動シミュレーション技術

(1) 提案理由

現状、摩擦摺動に起因した摩耗量を推定するには、実験による必要がある。これは、摺動面で発生する事象が複雑で、現状では適切な摩耗モデルを定義困難であることに起因する。一方、機械装置の利用環境は多様化の一途を辿っており、未経験材料の検討に使用できる時間は短い。機器の摩耗信頼性確保のためには、解析的に摩耗量を推定する技術の探求が必要である。摺動面で発生する物理化学現象を、材料変化に伴う物理化学特性変化までおさえ、時刻歴で模擬する摺動シミュレーション技術の構築に対するニーズは大きいと考える。

担当：東芝、日立

(2) 調査結果

ミクロ視点からの過去の研究成果が詳細に解説されている¹⁾。第一原理分子動力学法、均質化法、フェーズフィールド法、転移動力学法、粒子法、格子ボルツマン法のトライボロジーへの適用事例が紹介されている。当時（2011年）の結論として、摩擦摩耗現象は予測方程式を解けば答えが出るというのではなく、マルチスケールの直接シミュレーションができるのはまだ十分先である、としている。

ダイヤモンドライクカーボン(DLC)の摩擦機構に関しては、第一原理分子動力学法と Tight-Binding 量子分子動力学法により摩擦化学反応ダイナミクスと低摩擦機構が解明されている²⁾。この取り組みでは、特に DLC の表面終端が摩擦係数に及ぼす影響について検討され、水素終端あるいは OH 終端した DLC 同士の摩擦界面で、水素や OH 基の反発により摩擦係数が減少するメカニズム、また、この OH 終端がメタノール雰囲気中での摩擦化学反応により得られること等が明らかになった。

表面の摩擦・摩耗・加工に関する現象を平面ひずみモデル、原子間力ポテンシャルの制御などいくつかの古典分子動力学解析で解明している³⁾。この取り組みでは、研磨加工におけるアブレシブ摩耗の進展プロセスと摩擦力発生機構が明らかにされ、摩耗モードの遷移時に生じる摩擦係数増加現象が定量的に再現された。また、残留ひずみの少ない高品位表面仕上げを可能とする、材料の塑性伝播速度を超える高速度研削の有効性等が示された。

金属同士の摺動により生ずる凝着摩耗のモデル化に関しては、まず摩耗粒子が生成されるプロセスの詳細観察と、それに基づく摩耗式の提案がなされている⁴⁾。この取り組みでは、同種金属が摩擦する様子を in-situ 観察し、摩耗の始まりが真実接触部における数～数十 nm の摩耗素子形成にあること、それらが摺動界面での移着と凝集を繰り返して摩耗粒子が成長するプロセスが明らかにされた。また、凝着力と摩耗素子の発生量に比例関係があることが明らかにされた。この凝着による摩耗素子の生成については、分子動力学シミュレーションによる検証の試みもなされている⁵⁾。まだまだ解析規模は小さいが、表面の突起同士が接触するモデルにおいて、接触突起間で原子が集団で相互移着する結果を得、摩耗素子と同様のスケールで移着が進行することが確認された。

摩耗粒子生成以降の凝着摩耗のモデル化に関しては、摩耗粒子の生成、成長、移着、乗り上げ等のプロセスについて試験データの分析を基に定量物理モデル化が試みられている⁶⁾。この取り組みでは、摩擦界面のせん断力を固体同士の凝着力と大気中水分が表面に吸着した

水膜の凝着力との和と捕らえ、それにより凝着摩耗粒子の生成、成長が進行するモデルを構築した。考慮パラメータの拡張、理論化未完のパラメータの存在等課題は残るものの、実験結果に近づく摩擦面挙動が得られてきている。

連続体力学によるモデル化に関しては、フレッティング摩耗について、摩擦界面の介在物を考慮した有限要素解析手法が提案されている⁷⁾。試験との比較により、介在物を考慮しない従来モデルより最大摩耗深さの予測を80%改善した。

転がり軸受に関しては、接触疲労で生じるサブサーフェス損傷の進展をボロノイ分割を用いた有限要素モデルで解析し、同じボイド密度ならば大型軸受で寿命が短くなる現象が説明されている⁸⁾。

東北大学の久保研究室では、量子分子動力学法に基づくトライボロジーシミュレータの開発を継続的に行っている⁹⁾¹⁰⁾。独自開発の Tight-Binding 近似に基づく高速な量子分子動力学シミュレーターにより、鉄基板間の摩擦環境下におけるリン酸エステル系極圧添加剤の反応ダイナミクスや、サファイア($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)および GaN の化学機械研磨における砥粒および研磨液との化学反応を伴う研磨メカニズムが解明されている。

(3) 実行テーマ化への課題

第一原理分子動力学解析、フェーズフィールド法などマイクロな解析で摺動現象を解明する研究が進められている。空間と時間の制約があり、磁気ディスクなど nm オーダの解析で実績を挙げている。参加メンバーの事業では、もっとマクロな現象解明が必要であり、この可能性を上記文献に記載された研究機関と議論する必要がある。

参考文献

- 1) 佐々木直哉, 摩擦・摩耗・潤滑における計算科学の役割, 日本機械学会論文集 (A編), 77巻, 782号(2011), p1559-1570.
- 2) 久保百司, 第一原理分子動力学法と Tight-Binding 量子分子動力学法による ダイヤモンドライクカーボンの摩擦化学反応ダイナミクスと低摩擦機構の解明, Journal of Computer Chemistry, Japan Vol. 12, No.1 (2013), p. A3-A13.
- 3) 清水淳, トライボロジー現象のトライボロジー現象の古典分子動力学解析, 分子シミュレーション研究会会誌“アンサンブル”, 17巻, 1号(2015) p.7-12.
- 4) Mishina, H. and Hase, A., Wear equation for adhesive wear established through elementary process of wear, Wear, Vol. 308, (2013) p.186–192.
- 5) 長谷亜蘭, 三科博司, 凝着摩耗素過程 MD シミュレーションの試み – 真実接触部における摩耗素子生成過程の再現 -, 埼玉工業大学工学部紀要, 23号(2013) p.3-9.
- 6) Fukuda, K. and Morita, T., Physical Model of Adhesive Wear in Early Stage of Sliding, Wear, Vol. 376-377, (2017) p.1528–1533, 2017.
- 7) Amaud, P., Founry, S. and Garcin, S., A Numerical Simulation of Fretting Wear Profile Taking Account of the Evolution of Third Body Layer, Wear, Vol. 376-377, Part B, 15 (2017) p.1475–1488.
- 8) Walvekar, A., A., et. Al., New Approach for Fatigue Damage Modeling of Subsurface-Initiated Spalling in Large Rolling Contacts, Transactions of the ASME, Journal of Tribology, Vol.139, No.1 (2017) 011101-01-15.
- 9) 小野寺拓, 古山通久, 久保百司, 宮本明, 量子分子動力学に基づくトライボロジーシミュレ

ータの開発とトライボケミカル反応ダイナミクスへの応用, トライボロジスト, Vol. 52, No.7, (2007), 488.

- 10) 河口健太郎, 會澤豪大, 樋口祐次, 尾澤伸樹, 久保百司, 量子分子動力学シミュレーションによる難加工材料の化学機械研磨メカニズムの解明, トライボロジスト, Vol. 59, No.12 (2014) p.780.

3.5 FRP の疲労メカニズムの解明

(1) 提案理由

1907年に米国のレオ・ベークランドがフェノールとホルマリンを反応させ, ”やに状”に合成した「ベークライト」を開発し, これを木粉, 紙, 布などと一緒に加熱, 加圧した成型品がFRPの始まりといわれている。110年経った現在もいまだに「新素材」といわれているFRPの疲労のメカニズムは解明されているとは言い難い。

強度設計上重要な疲労寿命曲線を作成する際も, 金属同様の応力幅やひずみ幅を用いる場合のほか, 最大応力や最大ひずみで整理した方がよい場合も多い。さらに樹脂特有の時間依存の劣化を呈するため, 繰返し数依存の劣化, 繰返し速度依存の劣化との複合則の関係もいまだ整理されていない。

このほか, 繊維・樹脂の種類, 繊維の形状(短繊維, 長繊維), 繊維の屈曲の割合, 繊維含有率, 繊維配向などの諸元も強度に影響するため, 現状, 実機を製作し実験することでしか強度信頼性の確認方法がない。

これらの諸元を入力することで, 使用すべき疲労寿命曲線が推定できるような理論に裏付けされたツールが望まれる。

担当: 東芝, 三菱重工

(2) 調査結果

新しいFRP材料を製品に適用する場合は, 使用する環境における強度特性を評価する必要がある。主に航空宇宙の分野¹⁾で精力的に研究が行われているが, 環境を再現した強度試験が, 製品の開発期間やコスト増の要因の一つとなっている。例えば吸湿や高温といった環境影響による材料特性の低下機構²⁾が明らかにされれば, 未経験材料の検討時間が短縮され, 製品開発力向上が期待できる。

FRPの剛性や強度の劣化は, 母材であるプラスチックの特性が支配的な場合に顕著であることが, 既往試験から明らかになってきている。そのため, 母材の損傷や, 母材と強化材のはく離を考慮できるマルチスケール解析手法を開発できれば, 疲労強度の予測にかかる試験時間等を低減できると考えられ, Digimat や ANSYS Multiscale. Sim といったソフトウェア, あるいは繊維と樹脂を別々に有限要素モデル化し, 損傷則を定義してFRPの損傷発展を予測するシミュレータ(FrontCOMP)、ミクロスケールのシミュレーター³⁾が開発されているが, 解析精度は不明である。

FRPの劣化検出技術としては, 超音波を用いた非破壊診断装置が開発されている⁴⁾。また, 近年では電気抵抗を利用した繊維はく離検出手法が研究されている⁵⁾⁶⁾。しかし, 複合的な劣化メカニズムを扱う評価手法の研究例は見当たらない。

(3) 実行テーマ化への課題

一口にFRPと言っても構造は様々であり, それぞれについての研究は膨大であるが, 統一

的な理論、すなわち試験片を使わないで疲労寿命を推定しようという研究は見当たらなかった。この課題を研究テーマとして複数の研究者に提示することで道が開けるかもしれない。また、環境の影響を強く受けるのも FRP の強度評価を複雑にしている。

参考文献

- 1) <http://www.aero.jaxa.jp/research/basic/structure-composite/>
- 2) 北條正樹, 田中啓介, Ciaes-Goran GUSTAFSON, 一方向強化 CF/PEEK 積層板のモード I 層間はく離疲労き裂伝ばに及ぼす水環境の影響, 日本機械学会論文集 (A 編), 56 巻, 526 号 (1990), p1335-1342.
- 3) 吉川暢宏, 複合材料強度信頼性評価シミュレーターの開発, (2010), <http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/project/material/index.htm>
- 4) 勝又健一, 松岡一祥, 林慎也, 田中義照, 秋山繁, 超音波による FRP 劣化診断技術の開発, 海上技術安全研究所報告, 第 4 巻, 第 5 号(2004), p.535-550.
- 5) 池上真澄, 藤井善通, 西村寛之, 長期使用した GFRP 塩酸タンク切り出し材の電気抵抗測定による劣化診断, 日本機械学会機械材料・材料加工技術講演会講演論文集, 23 巻(2015), セッション ID: 614
- 6) 山本健太郎, 松崎亮介, 轟章, Crack Swarm Inspection による CFRP 積層板の層間はく離検出の実験的検証, 日本機械学会機械材料・材料加工技術講演会講演論文集, 24 巻(2016), セッション ID: 322

3.6 材料の残存強度, 残存疲労寿命の推定法

(1) 提案理由

環境問題の改善の観点からも, 近年機械部品のリユース (リビルト) の概念が取り入れられている。ある期間使用に供された材料の残存強度, 残存寿命が予測できることはリユースパーツを使用した製品の信頼性の確保に重要である。

現状は, 表面のき裂観察, 残留応力の測定などの技術しかないが, 材料の劣化の進行状態を示す他の因子, たとえば転位密度の可視化, 音響伝播の変化, 高周波電気抵抗の変化などで損傷度が予測できないか。

担当: コマツ、日立

(2) 調査結果

材料組織の計測・評価技術としては, EBSD 法による損傷評価が報告されている¹⁾。EBSD 法により初期を基準とした同一箇所の方角変化量は疲労き裂、すべり発生部と良く対応しており、疲労損傷評価指標として有効である。ミクロ領域の材料特性の計測については、計装化顕微インデンテーション計測法により弾性、弾塑性、粘弾性の変化を定量的に評価できることが報告されている²⁾。機械的性質および疲労強度に及ぼす溶接の影響を定量的に評価するため、溶接部から採取した超小型試験片 (全長 3mm 以下) により評価する技術が発表されている³⁾。しかしこれらの方法を実働している機械構造物に適用するには、構造物の微小部分を切り出す必要がある。

一方、非破壊検査による予寿命評価として、超音波探傷試験、渦電流探傷試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験、電気化学的再活性法による研究成果が総合的に報告されている⁴⁾。電力

機器のマイクロ損傷検出に関して、超音波や微小硬さ計測による研究成果が報告されている⁵⁾。最近では、転がり軸受の予寿命評価に関して、X線回折を用いた新しい評価手法の報告がある⁶⁾。

非金属材料に関しては、腐朽処理を施した木材と施さない木材では圧縮試験後の超音波伝播速度低下率に差があることが報告され、劣化の評価が可能であるという報告がある⁷⁾。コンクリートの圧縮強度の推定法として、音響解析を用いた方法が報告されている⁸⁾。

材料特性を短時間で取得する加速試験法開発の取り組みの例として、超音速輸送機使用想定温度での長期高温曝露が炭素繊維強化ポリシアネート樹脂複合材料の各種特性におよぼす影響を明らかにすることを目的に加速試験を適用した研究がある⁹⁾。この研究は短時間で熱酸化劣化を評価するための加速試験法として、加圧環境下での長期高温曝露を選定し、大気圧下での結果と比較することでその評価を行っている。その結果重量変化についてはある程度加速可能であるが、重量変化の要因である自己酸化反応における各段階での速度定数には差があり、一律な加速評価は不可能であった。一方、各段階での速度定数を実験的に取得することで、一方向材の樹脂収縮と剛性変化を見積もることが可能であることを明らかにしている。このように加速試験法により、膨大な時間を要していた実験的評価を短期間の実験から見積もることが可能となり、工業的寄与についても大きいといえる。

近年は材料や構造の Dependability(総合信頼性) 要求として製品のライフサイクルを通じた要求達成能力が求められている。こうした中で、潜在的な不具合を短時間に顕在化する技法、設計的な問題点の検出や設計検証の手段としても必要性が高まっている¹⁰⁾。信頼性加速試験はその代表例ともいえる。その国際規格が2013年に制定された¹¹⁾¹²⁾が、背景には信頼性技法として加速試験にそれぞれの一方的な解釈をすることなく、その理解と製品開発への適用、あるいは加速試験の持つ限界やリスクについての認識をガイドすべきという国際的な要求があった。また、製品の高信頼性化や複雑化は故障の検出を難しくしており、HALTに代表されるような故障現象を厳しく条件で顕在化せる手法の活用は欠かせないものとなっている。一方で、寿命の加速や故障の検出と保証とは別物であり、効率的な新製品開発のための技法としての認識が必要となる。

(3) 実行テーマ化への課題

材料の組織変化から残存強度を推定する方法として、EBSD法、機械的性質（ヤング率、降伏値等）の測定、ミニチュア試験片による疲労試験などが報告されているがいずれも構造材からの試験片切り取りによる。非破壊では硬さ、超音波、電磁気、X線回折が報告されているが、装置が大掛かりとなる。非破壊で実働機械への適用が可能な予寿命評価法、例えばコンパクトなセンサの開発、計測・材料試験データベースと材料シミュレーションの融合などがテーマ候補となる。なお、非破壊検査に関する論文は古い文献が多く、イノベーションが起こっていないように感じる。

参考文献

- 1) 早川守, 脇田昌幸, 中山英介, EBSD法による結晶方位パラメータを用いたフェライト鋼の疲労き裂発生過程における損傷評価, 日本機械学会論文集, 80巻, 817号 (2014) SMM0251.
- 2) 逆井基次, 粘弾性圧子力学の構築とマイクロ領域におけるレオロジー計測, 日本レオロジー学会誌, 39巻, 1号 (2011) p.7-15.

- 3) 中山英介, 超小型試験片による局所材料強度特性評価, 溶接学会誌, 75 巻, 6 号 (2006) p.7-11.
- 4) 横野泰和, 構造物の余寿命予測に必要な非破壊検査技術, 溶接学会誌, 59 巻, 3 号(1990) p.199-205 (1990).
- 5) 川崎弘嗣, 余寿命評価のための材料損傷診断技術の開発, サイクル機構技報, 8 号, (2000) p.29-39.
- 6) 嘉村直哉, 藤田工, 佐々木敏彦, X 線回折環分析装置による転動疲労の評価, NTN TECHNICAL REVIEW, 83 号(2015) p.67.
- 7) 後藤崇志, 富川康之, 中山茂生, 古野毅, 腐朽処理した木材の超音波伝播速度及び部分圧縮強度の変化, 木材学会誌, 57 巻, 6 号 (2011) p.359-369.
- 8) 三田紀行, 堀江優介, 松留慎一郎, パルス電磁力音響法によるセメントモルタルの圧縮強度推定に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, 76 巻, 662 号 (2011) p.721-727.
- 9) 小林 良之, 長期高温暴露が炭素繊維強化プラスチックの損傷挙動および残留機械特性に及ぼす影響, 首都大学東京学位論文, 2015
- 10) 原田文明, 信頼性加速試験の国際基準 IEC62506 の概要とそのポイント, エスペック技術情報, Test Navi Report No.32(通巻 96 号), p1-6.
- 11) IEC62506 Methods for product accelerated testing 2013,6
- 12) IEC61710 Power law mode-Goodness-of-fit tests and estimation methods

4. 結論

4.1 調査結果概要

(1) 接着メカニズムの解明

接着力の発現メカニズムは、機械的結合、物理的相互作用、化学的相互作用によっていることが判っており、現時点での技術課題に対し、接着メカニズム自体は解明されていると考えられるが、定量的な予測手段はない。

(2) 摩擦力の解明

摩擦力の発生メカニズムは、摺動表面状態の同定の困難さもあって、全貌解明への道のりは遠い。シンプル化した表面状態に対するシミュレーション技術をマクロ領域へと援用することがブレークスルーとなる可能性がある。

(3) フラクトグラフィの高度化

破面解析は技術の属人化傾向が強いため、AIなどを活用した評価の自動化に対する期待が大きい。

(4) 摺動シミュレーション技術

第一原理分子動力学解析、フェーズフィールド法などマイクロな解析で摺動現象を解明する研究が進められているが、工学的には、更なるマクロ領域の現象解明に対する期待が大きい。

(5) FRP の疲労メカニズムの解明

個別材料、構造に対する寿命評価研究は膨大であるが、統一的な理論の構築には未だ到っていない。また、環境の影響が強いことも問題を複雑にしている。

(6) 材料の残存強度、残存疲労寿命の推定法

切り出し試験片を用いたミニチュア材料試験や様々な非破壊検査が提案されているが、実

働機械へ適用可能な簡便な評価手法への道のりは遠いと思われる。イノベーションが必要。

4.2 総括

従来から課題と認識されてきた技術分野においても、工学的必要性から対応技術は存在しており、個別に製品適用されているのが実情である。しかし、抜きん出た性能を得るためにはメカニズム解明が必要な段階に来ており、統合的、横断的な技術整理やモデル化が必要と考えられる。特に上記(1)(2)(4)は物体界面の問題であるが、表面粗さの寸法が連続体力学が成り立たないメゾ領域であることが解決を難しくしていると考えられる。

このような課題の一分野ではあるが、省エネルギーに対するブレークスルー技術となり得る『超低摩擦摺動面』設計技術については、本取り組みのなかでRC分科会を立上げ、非競争領域における技術開発に着手した。加えて、調査を実施した6テーマに対しては、有意性を引き続き討議し、RC分科会化を検討したい。

追記：本調査は、冒頭に述べたCOCNプロジェクトの趣旨に沿って、企業側の要望を基に行ったもので、網羅的でなくまた最新の研究成果の漏れもあると思われる。もしご興味があれば、調査結果に対するアカデミアの方々からのご指摘をいただきたい。

連絡先：日本機械学会 イノベーションセンター 研究協力事業委員会 協調領域技術懇談会

E-mail: kyouchou@jsme.or.jp

参加メンバー

日本機械学会	中山良一
コマツ	花本忠幸
コマツ	山本浩
東芝	戸谷公紀
日立	北野誠
日立	大野耕作
三菱重工	佐藤敏浩
三菱重工	加藤永護
事務局	野口明生（日本機械学会）