

安全・安心と省エネルギーのための 非破壊評価技術と機能性摺動材料の研究開発

東北大学流体科学研究所 教授

高木 敏行

1

システムエネルギー保全研究分野



高木敏行 教授



小助川博之 助教



内一哲哉 准教授



三木寛之 准教授



教員	4 名
研究員	2 名
技術職員	2 名
秘書	3 名

博士後期課程	4 名
博士前期課程	12 名
学部生	8 名

計	35 名
---	------

2

経年劣化構造物の保全

複雑な人工構造物の設計と維持・管理の高度化

不具合と事故の防止

- ▶ 保全の定量化と最適化に関する研究
- ▶ 非破壊検査・評価・診断に関する研究
- ▶ 新しいセンサの開発とメカニズム解明



アメリカ・ミネアポリス高速道路崩落事故
(2007.8.1, 供用40年)

機械やシステムの耐久性向上

- ▶ 耐摩耗性と摩擦特性に優れる摺動要素
- ▶ エネルギー損失の少ない加工プロセス



日本・中央自動車道笹子トンネル天井崩落事故
(2012.12.2, 供用37年)

3

システムエネルギー保全研究分野

目的・使命

プラントなどの大規模複雑システムや輸送機械の保全の最適化

1. 非破壊検査と構造ヘルスマモニタリングのための検査・診断技術の開発と高度化
2. 機械の長寿命化・高効率化のための機能性摺動材料の研究開発

産学官連携、国際共同研究による**多視点的な**研究体制

産学官 : 研究会の設立、ベンチャー企業立ち上げ

国際共同 : 研究拠点形成事業(Core-to-core)

日仏国際共同研究ELyT Lab、ELyT MaX 等

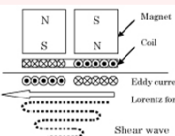
4

システムエネルギー保全研究分野

非破壊評価技術
機能性摺動材料

電磁現象応用技術

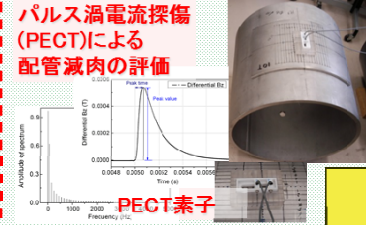
電磁超音波トランスデューサ(EMAT)



EMAT素子

EMATによる配管モニタリング


パルス渦電流探傷(PECT)による配管減肉の評価



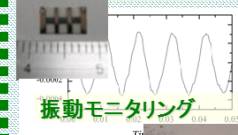
PECT素子

コーティング技術

PVD-CVDハイブリッド製膜装置

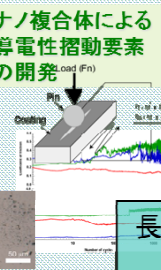


薄膜モニタリングセンサの開発



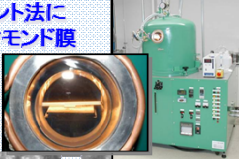
振動モニタリング

ナノ複合体による導電性摺動要素の開発

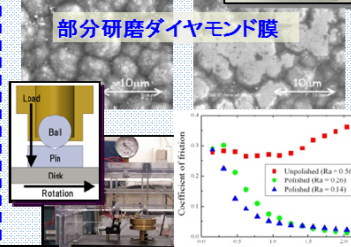


ダイヤモンド技術

熱フィラメント法によるダイヤモンド膜の合成



部分研磨ダイヤモンド膜




ダイヤモンド膜を用いた低摩擦固体潤滑材の開発

検査

診断


発電施設のメンテナンス技術

鋳造部品の全数検査技術



プラントの検査

エンジン部品の摩擦低減

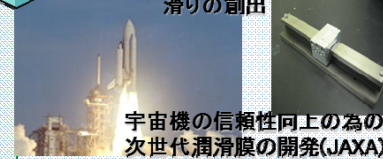


導電性と摺動性が求められる接点要素

長寿命化

高効率化

無潤滑による新たな滑りの創出



宇宙機の信頼性向上のための次世代潤滑膜の開発(JAXA)

各研究テーマの進捗と産学共同研究 ~非破壊評価技術~

非破壊評価技術 ~電磁現象応用技術~

電磁現象を利用した非破壊検査技術の確立

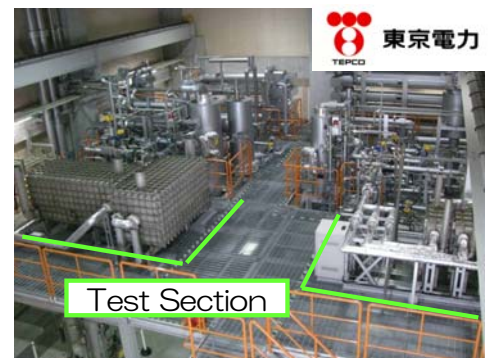


7

非破壊評価技術 ~電磁現象応用技術~

電磁超音波共鳴法(EMAR)による配管減肉のオンラインモニタリング

- 電磁超音波共鳴法は、(1)高温域での測定が可能である、(2)表面状態に左右されない、(3)高精度の測定が可能である。しかし、使用用途は平坦で単純な形状に限定されていた。
- 複雑な減肉形状と高温でのモニタリングへの応用のための信号処理を開発した。

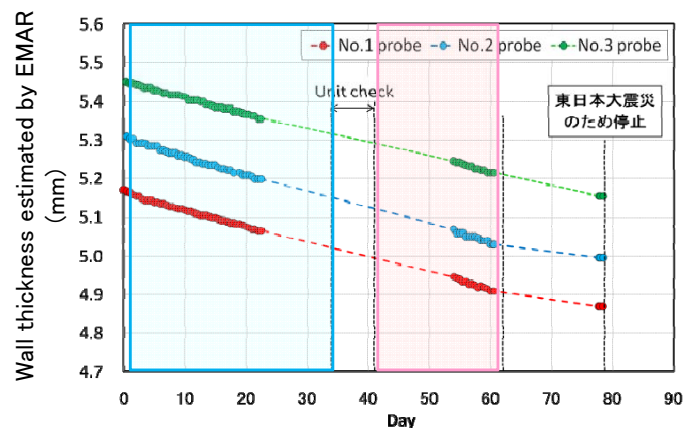


模擬減肉試験装置 (東京電力 技術開発研究所)

Test periods: 79days Flowing conditions: I, II

amount of thinning [$\mu\text{m}/\text{day}$]

Period	No.1	No.2	No.3
I	4.8	5.1	4.3
II	5.2	5.5	4.4



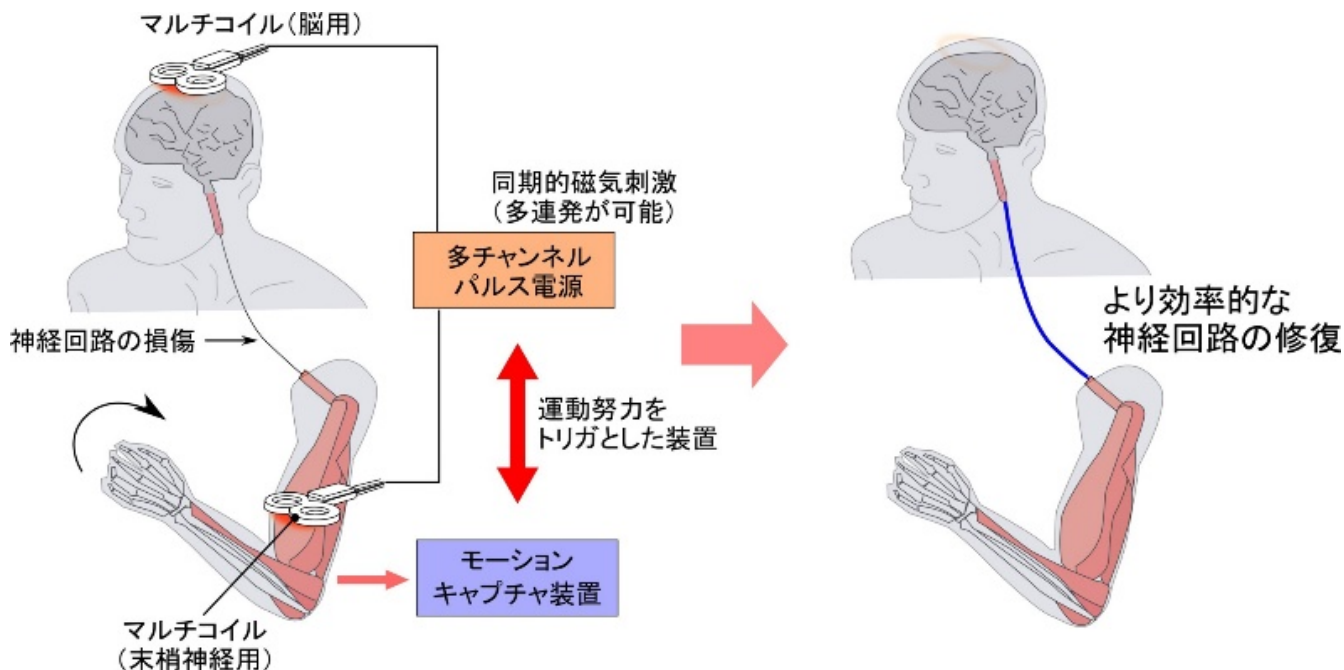
- 高温環境下における検査技術へ

8

非破壊評価技術 ~電磁現象応用技術~

生体磁気刺激による神経回路の修復

- ▶ 誘導電流を用いて神経と筋肉の運動を誘発
- ▶ 運動努力との組み合わせによる神経回路修復の効率化



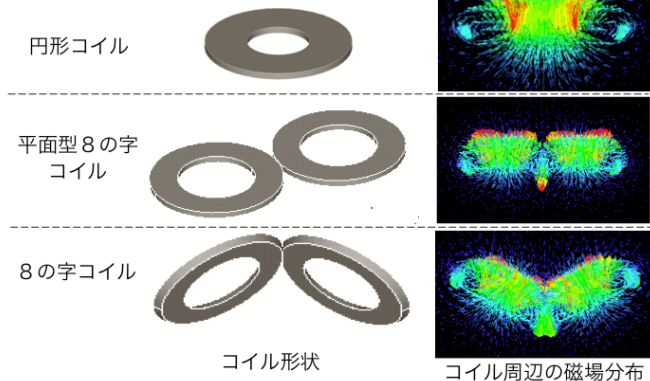
9

非破壊評価技術 ~電磁現象応用技術~

高頻度生体磁気刺激装置 Pathleader™

- ▶ 電磁誘導現象を利用したリハビリテーション支援装置
- ▶ 高頻度の磁場により神経・筋肉を刺激

磁気刺激用コイルの磁場分布



電磁数値解析による磁場分布のシミュレーション



Pathleader (株式会社IFG)



10

非破壊評価技術 ~コーティング技術~

ダイヤモンドライクカーボン(DLC)



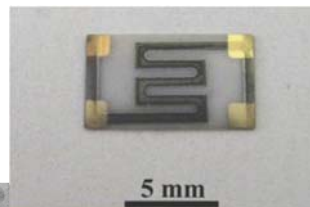
11

非破壊評価技術 ~コーティング技術~

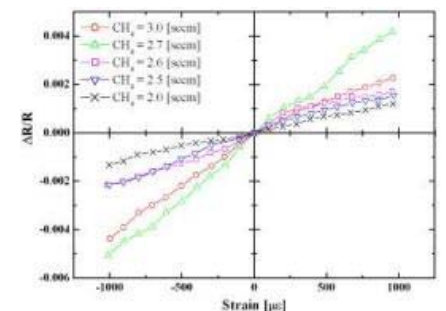
金属含有ダイヤモンドライクカーボン(Me-DLC)



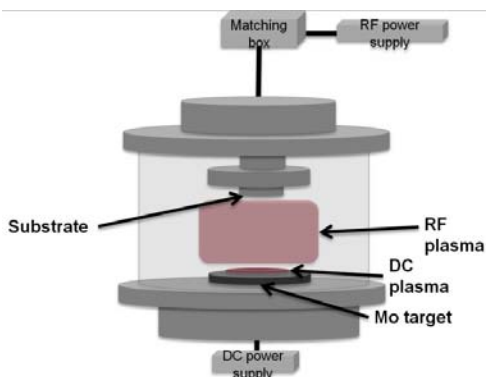
- ▶ DLCに導電性を付与
- ▶ 耐環境性を有するセンサの創成
- ▶ 耐摩耗性と導電性の両立



Me-DLCのひずみセンサとTEM



Me-DLCのひずみに対する電気抵抗変化



原料ガス:メタン、アセチレン...

金属種:W、Cr、Co、Ni、Nb、Mo、V、In、

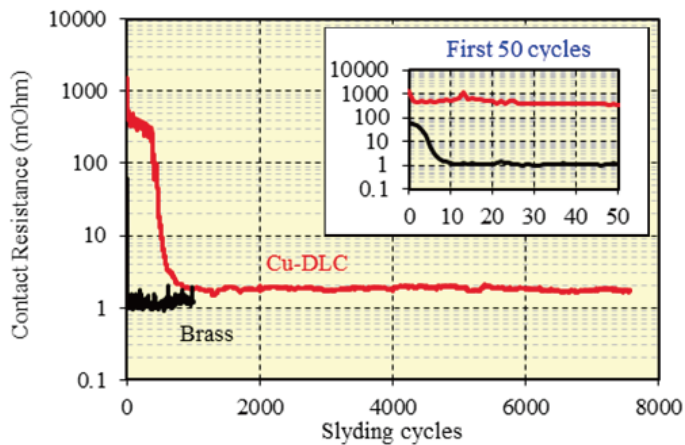
Cu、Ir、Ag...

12

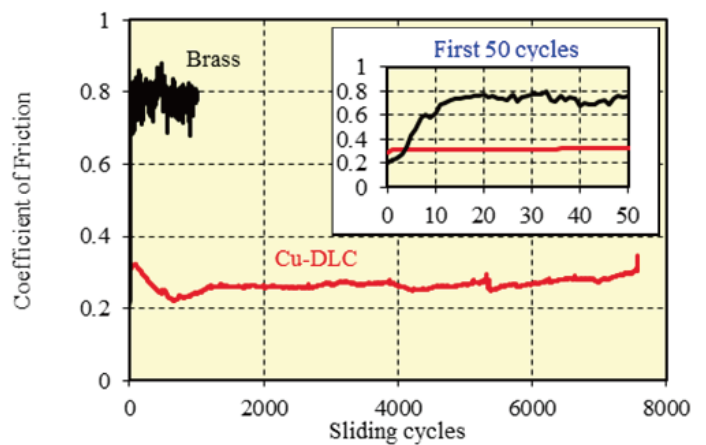
非破壊評価技術 ~コーティング技術~

低電気抵抗性・耐摩耗性を実現するコーティング技術

EVおよびHV用基材へのDLC適用



Me-DLCの摩擦距離-電気抵抗の関係



Me-DLCの摩擦距離-摩擦係数の関係

Hombo, R., Takeno, T., Fontaine, J., Miki, H., Kato, N., Nozu, T., Inayoshi, N., Belin, M., Takagi, T., Proceedings of ICFD2015 (2015)

日仏国際共同研究と産学連携による先進的な取り組み

13

非破壊評価技術 ~コーティング技術~

DLCの真空中における耐摩耗性向上の研究

H21-H24 JAXA DLC被膜の真空中における耐摩耗性向上の研究

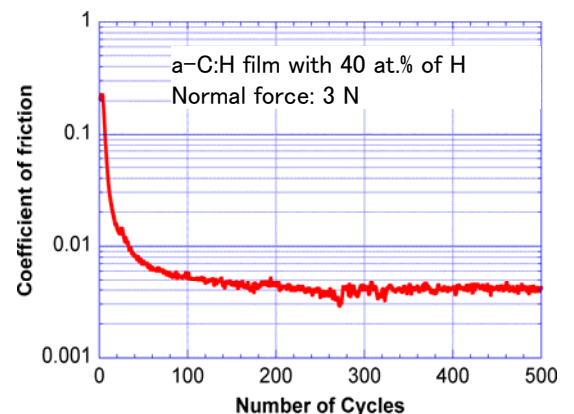
- ▶ 耐摩耗性と低摩擦性
- ▶ 二硫化モリブデンに代わる宇宙用潤滑剤
- ▶ 液体潤滑剤と併用して以下の部品へ適用



軸受



波動歯車機構



水素化DLC被膜の真空中摩擦係数

Fontaine, J., Proceedings of Institution Mech Eng. Part J (2008)

その他、DLCコーティング技術に関する共同研究

DLCによる耐摩耗性・軟質金属耐付着性・低摩擦性のための表面改質
 金属添加DLC膜の特性評価
 自動車用耐摩耗性コーティング技術の開発

14

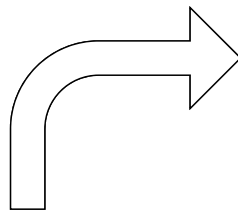
各研究テーマの進捗と産学共同研究 ～機能性摺動材料～

15

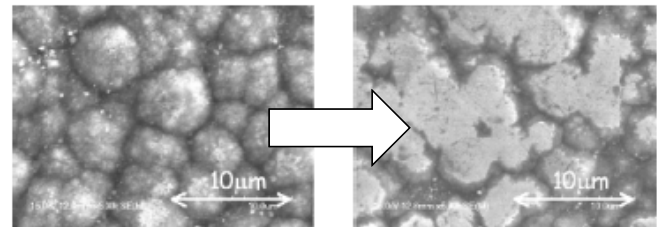
機能性摺動材料 ～ダイヤモンド技術～

低摩擦潤滑による省エネルギー

- ▶ 低摩耗による長寿命化
- ▶ 低摩擦による高効率化
- ▶ オイルフリーの低摩擦摺動



研磨できる微結晶ダイヤモンド膜



多結晶ダイヤモンド膜のプレート構造化

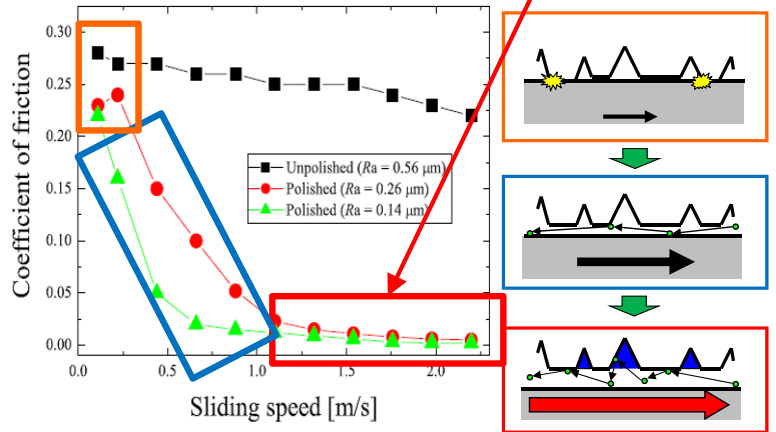
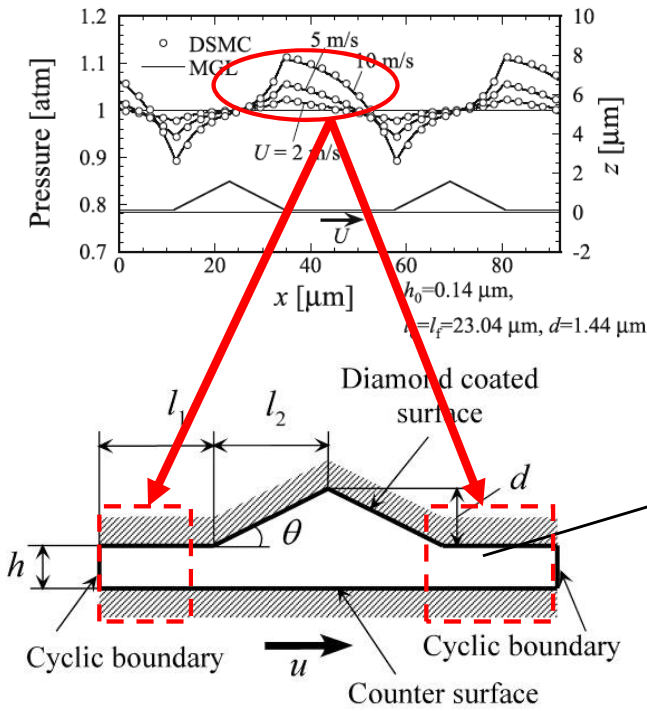
熱フィラメントCVDによる
ダイヤモンド膜の成膜

16

機能性摺動材料 ~ダイヤモンド技術~

超低摩擦状態の実現!

摩擦係数と摺動速度の関係



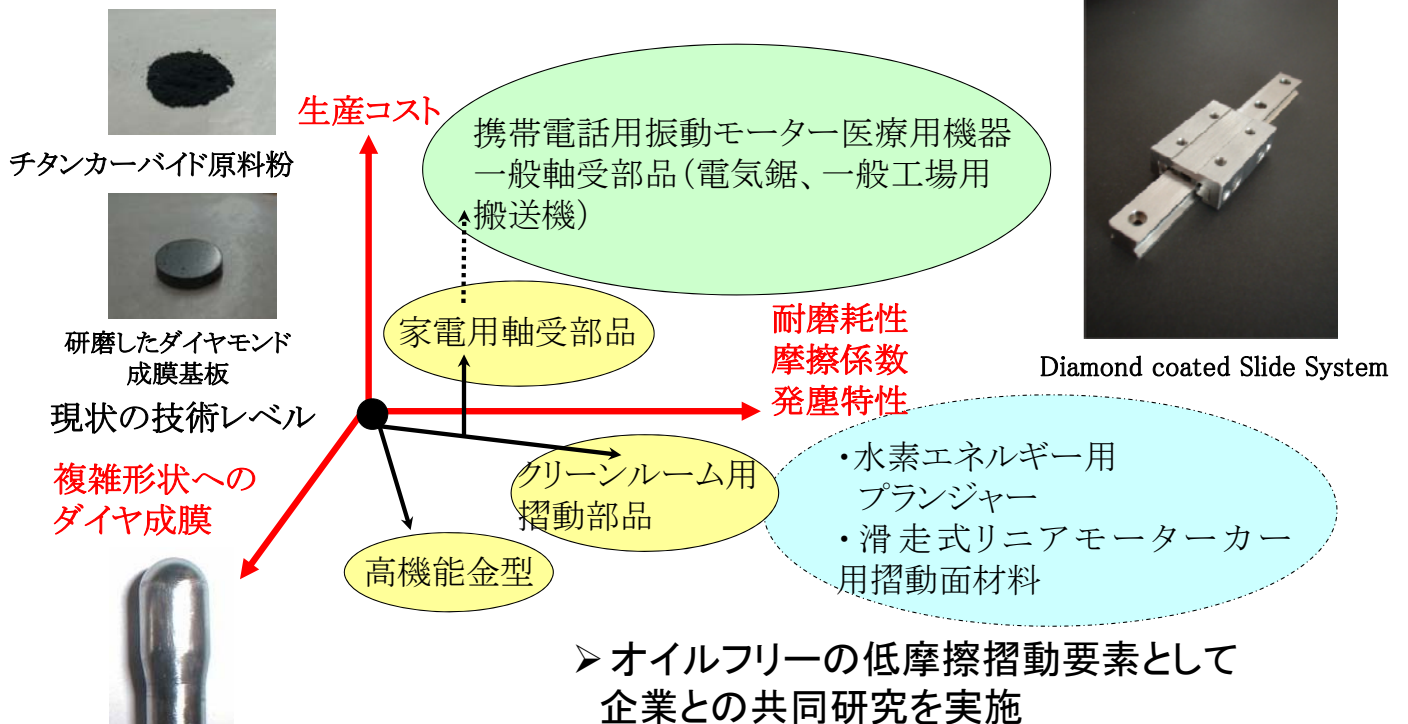
この部分で圧力が高くなり、浮上力が発生している

- 宇宙機の信頼性向上のための次世代潤滑膜
- オイルフリー摺動要素としての産業応用
- 高圧圧縮ポンプ
- モーター・ベアリング

Yonemura, et al., Tribol Lett (2014)

機能性摺動材料 ~ダイヤモンド技術~

部分研磨ダイヤモンド膜による超低摩擦低摩耗技術

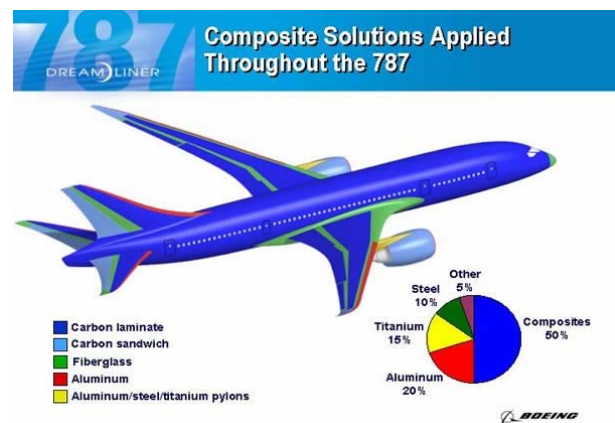
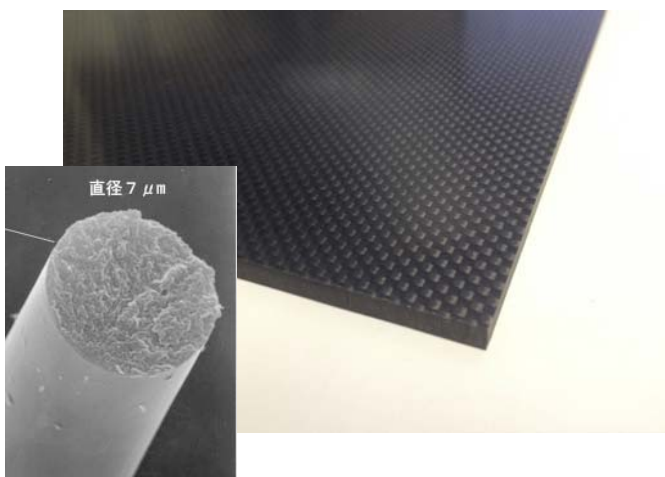


JST 研磨可能なダイヤモンド成膜技術の開発
優れた摩擦・摩耗特性を有するダイヤモンド機械摺動面の開発
複雑形状へのダイヤモンド成膜技術

産学官連携：CFRP研究会

19

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)



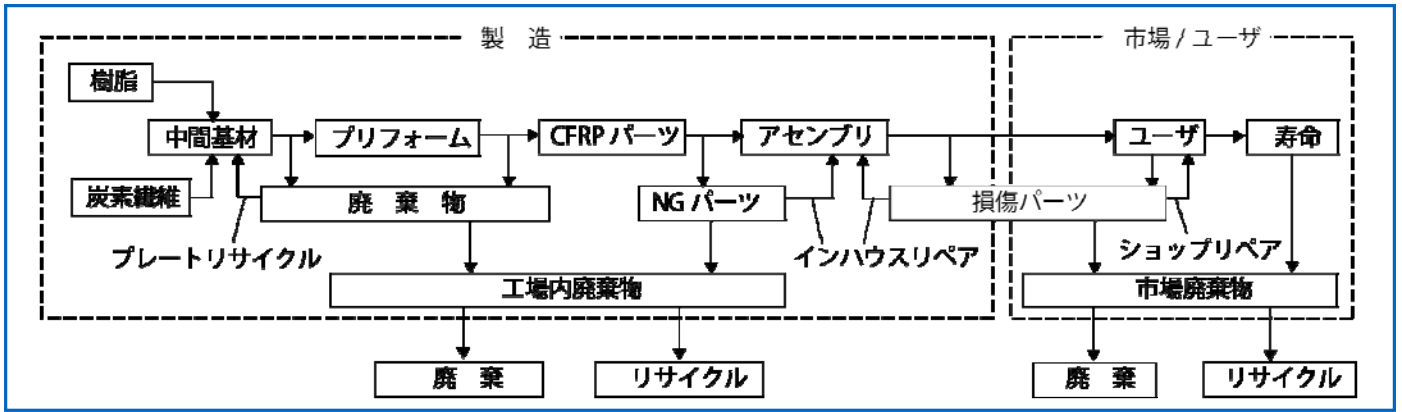
“鉄よりも強くアルミよりも軽い”

- 炭素繊維 + 樹脂(プラスチック)
- 航空機の1次構造部材として使用されることで燃費や航続距離が向上
 - 自動車、洋上風力発電、高圧水素容器、発電所配管などへの利用

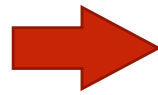
CFRPの保全技術には課題が多く未成熟

20

CFRPのライフサイクル

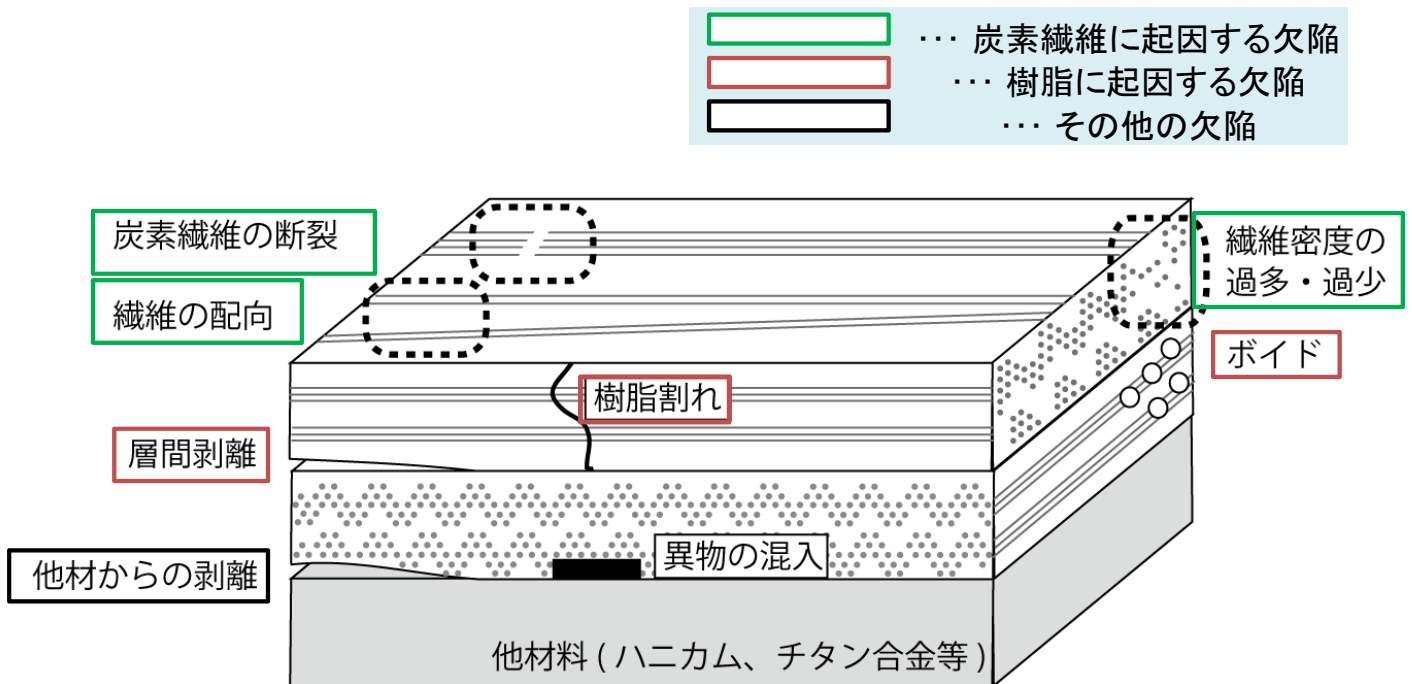


各工程で適当な非破壊検査・評価法が必要



- 品質保証や構造物の健全性維持
- 効率的な炭素繊維と樹脂の使用
- 歩留まりの向上
- CO₂排出量の低減

CFRPの非破壊検査の注目ポイント

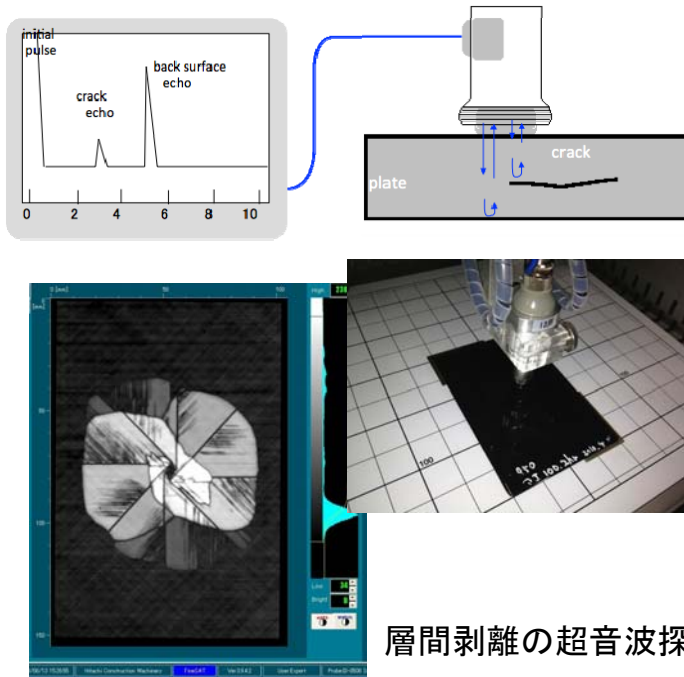


欠陥の種類や形状に応じた最適な非破壊検査技術を選定する必要

CFRPの非破壊検査・評価技術の実状

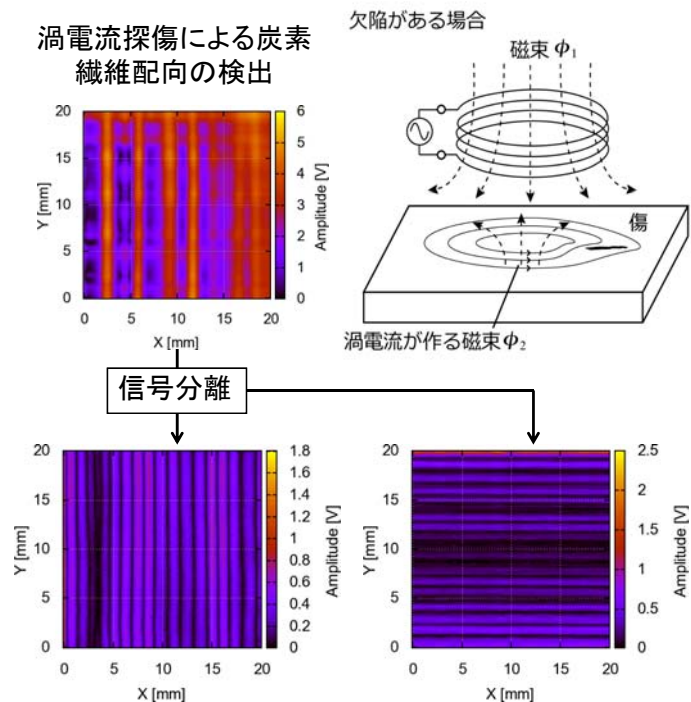
超音波探傷法

- ▶ 走査速度が速い
- ▶ 樹脂由来の欠陥



渦電流探傷法

- ▶ 表面傷の検査性が良い
- ▶ 繊維由来の欠陥



23

CFRP研究会

平成26年10月 研究会設立

目的

- ▶ 大学、地方公設試験研究機関、企業の産学官連携で、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に関わる知識向上と、課題の抽出および解決を図る。
- ▶ 東北にCFRPに関して高いレベルの知見や技術を持つ大学、企業、公設試の集団を形成し、新産業を育成する一助とする。

活動内容

- ▶ 講演会の開催(年2回) これまで4回開催
- ▶ 技術調査会(年1回) これまで2回開催
- ▶ 要素技術毎の研究分科会(検査・評価、リサイクル、修復、二次加工)
- ▶ 大学や企業の技術相談
- ▶ 会員企業のマッチング
- ▶ 他複合材料センターとの連携と意見交流

24

CFRP研究会

構成

- ▶ 会長:高木敏行(東北大学流体科学研究所 教授)
- ▶ 副会長:伊藤浩司(山形大学大学院理工学研究科 教授)
- ▶ 幹事:小助川博之(東北大学流体科学研究所 助教) 他10名

実施機関

- ▶ 東北大学、山形大学、八戸工業高等専門学校
- ▶ 宮城県産業技術総合センター、秋田県産業技術センター、福島県ハイテクプラザ、山形県工業技術センター、青森県工業技術センター、宮城県経済商工観光部新産業振興課、東北経済産業局、(株)インテリジェント・コスモス
- ▶ トヨタ自動車東日本(株)、ヤマセ電気(株) など26社

25

CFRP研究会

沿革

- | | |
|-------------------|-------------------|
| ✓ 平成26年10月 | 研究会設立 |
| ✓ 平成26年10月28日 | 設立総会・記念講演(第1回講演会) |
| ✓ 平成27年1月9日 | 第1回技術調査会 |
| ✓ 平成27年1月27日 | 第2回講演会 |
| ✓ 平成27年7月 | 「検査・評価」分科会設立 |
| ✓ 平成27年10月 | 「リサイクル」分科会設立 |
| ✓ 平成27年7月9日 | 第3回講演会 |
| ✓ 平成27年11月19日～20日 | 第2回技術調査会 |
| ✓ 平成28年1月13日 | 第4回講演会 |



設立総会



第4回講演会

26

CFRP研究会設立のねらい

東北にCFRPのMROに関わる知識・技術・事業を集積

- ▶ CFRPのMRO(Maintenance、Repair、Overhaul)は重要な市場であるにも拘らず、日本を始めアジア圏内には十分な土壌がない
 - 例) 航空機の修理のために、年間2,000億円以上が国外に流出
- ▶ CFRPの構造材料としての利用が益々増大していくと考えられ、これに合わせてMRO関連の技術開発、市場開拓も急務
 - 航空産業では、MRJの投入を追う形でMRO事業の設立が急がれている
 - 航空機その他、自動車、風車、高圧水素容器、土木構造物もターゲットへ
- ▶ 一方、CFRPの保全と修理には多くの技術的・法規的な課題があり、研究開発の進展が強く望まれている

27

CFRP研究会設立のねらい

東北にCFRPのMROに関わる知識・技術・事業を集積

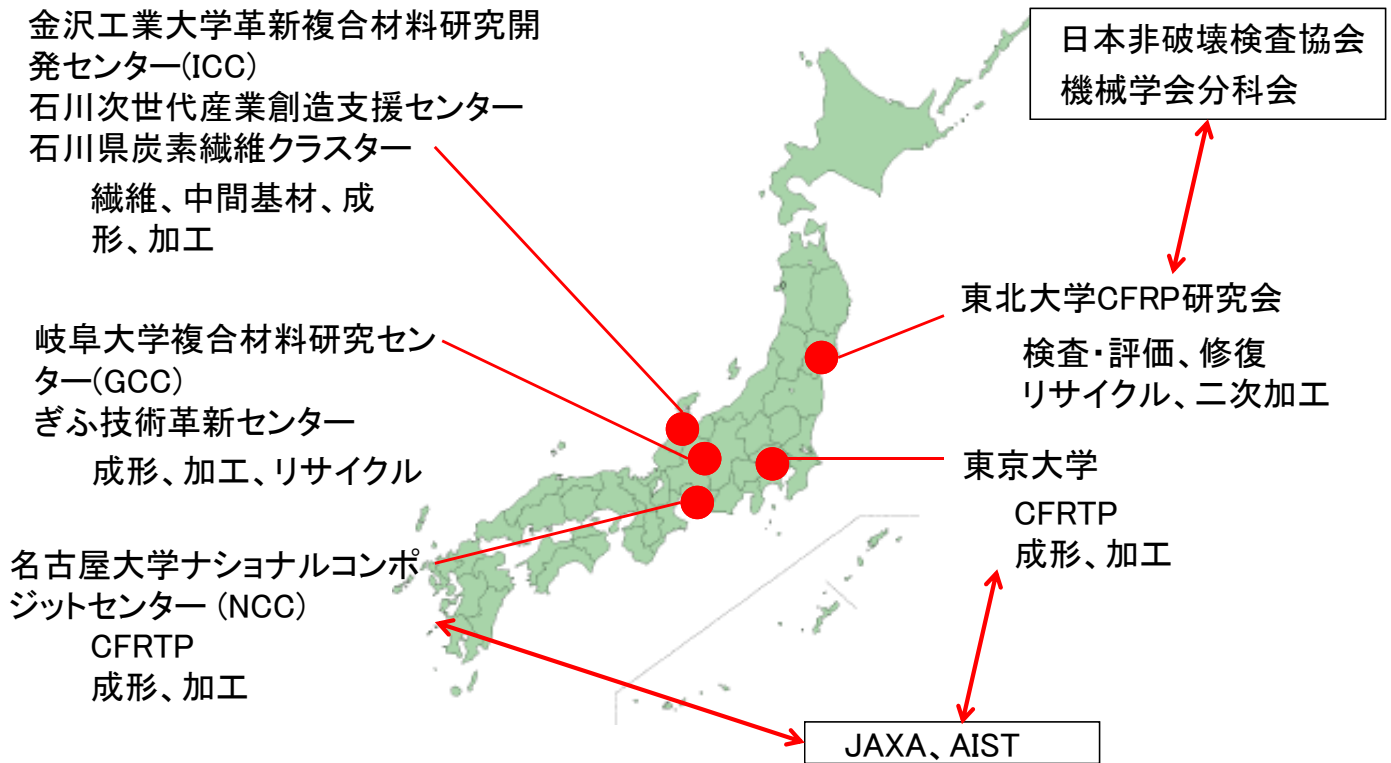
- ▶ 「検査・評価」「リサイクル」「修復」「二次加工」の分科会活動
 - 研究開発基盤づくり、市場調査、産学連携の構築
- ▶ 外部資金の獲得、基礎技術と学理のブラッシュアップ、試作品の作製
 - 製品化に向けたステップ(A-STEP、サポインなど)
- ▶ 東京大学、NCC(名古屋大学)、ICC(金沢工業大学)、GCC(岐阜大学)との連携体制
- ▶ 産官学連携による体制強化と外部資金獲得(NEDO、JSTなど)



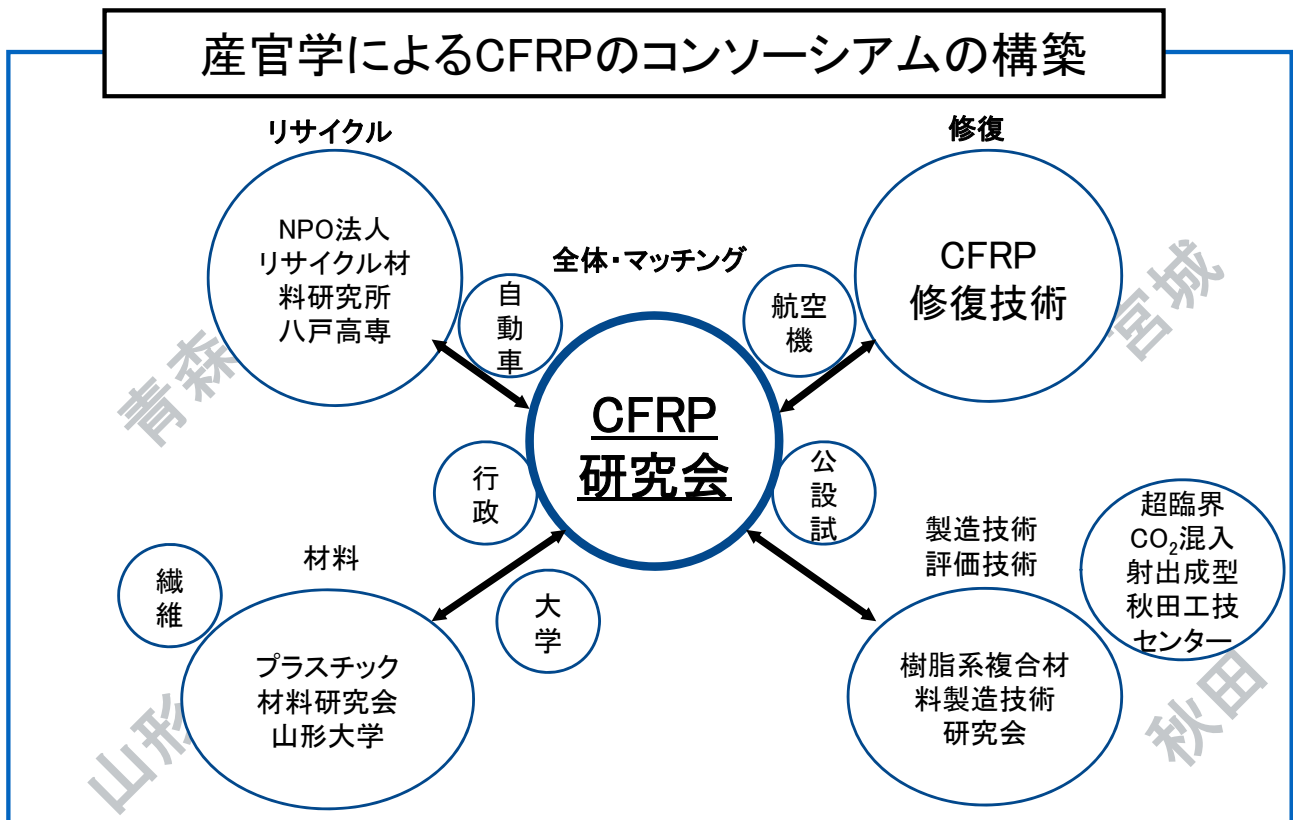
産官学連携によるCFRPの保全センターを東北に設立

28

CFRPに関わる主な国内研究機関



CFRP研究会設立のねらい



CFRP保全研究センターを東北に

まとめ

- 非破壊評価技術と機能性摺動材料の研究を通して、
産学連携で製品化や共同研究を実施

自動車関連では摺動要素技術に関する共同研究を実施
今後はCFRPの非破壊検査・評価技術を発展させていく

- 産官学連携によるCFRP研究会を設立

航空機や自動車用途に用いられるCFRPの保全・修理・リサイクル・二次加工に関連する技術・知見・事業の拠点を東北に構築することを目指す