

風力発電等技術研究開発／風力発電高度実用化研究開発／
風車運用・維持管理技術高度化研究開発

風力発電機の長寿命化に向けたマルチスケール
トライボ解析・実験による最適潤滑剤設計

小別所 匡寛
出光興産(株)
(公)兵庫県立大学
(国)岡山大学

2023年2月3日

問い合わせ先：出光興産株式会社
E-mail:masahiro.Kobessho.9510@idemitsu.com
TEL:03-3213-3146

事業概要

1. 期間

開始 : 2020年10月23日
終了 (予定) : 2023年 3月31日

2. 最終目標

15年間オイルを無交換で風車を運用・維持する
(オイルの平均交換頻度を5年→15年に向上する)

3. 成果・進捗概要

基材と仕様の最適化により、ギヤ油が各種加速試験で現行油性能を大幅に上回ることを確認した

寿命15年超は高い確度で可能な見込み (目標達成の見込み)

1. 会社紹介

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況

3. 本件開発事業の意義

4. 成果

5. 今後の課題とまとめ

1. 会社紹介

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況

3. 本件開発事業の意義

4. 成果

5. 今後の課題とまとめ

1. 会社紹介

会社概要

- 商号 出光興産株式会社
- 本社 東京都千代田区大手町一丁目2番1号
- 設立 1940年 (創業1911年)
- 売上高 6.7兆円 (連結 2022年3月末)
- 従業員数 1.4万人(連結 2022年3月末)
- 国内SS数 6,200カ所(2022年3月末)
- その他 2019年4月 旧 昭和シェル石油株式会社と事業統合
2021年1月 シェルルブリカンツジャパンをShellグループに
株式譲渡

1. 会社紹介

2030年ビジョン

エネルギーの安定供給と共に社会課題の解決に貢献することが当社の責務と認識。

私たちは、

責任ある変革者

を2030年ビジョンとして掲げ、

地球と暮らしを守る責任：

カーボンニュートラル・循環型社会へのエネルギー・マテリアルトランジション

地域のつながりを支える責任：

高齢化社会を見据えた次世代モビリティ&コミュニティ

技術の力で社会実装する責任：

これらの課題解決を可能にする先進マテリアル

3つの責任を事業活動を通じて果たしていく。

変革をカタチに

私たちは、一步先のエネルギー、多様な省資源・資源循環ソリューション、スマートよろずやの社会実装を通して、

人びとの暮らしを支える責任

未来の地球環境を守る責任

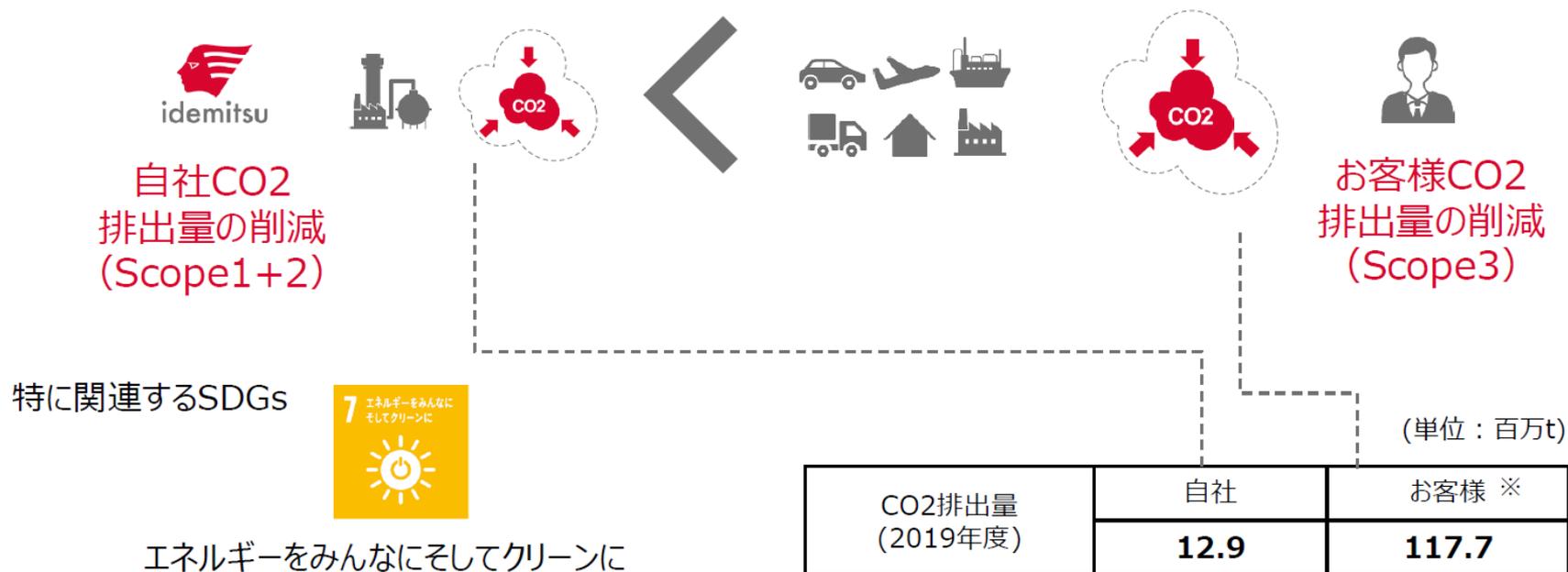
を果たします。

1. 会社紹介

バリューチェーン全体でのCO2排出量削減

自社操業に伴うCO2排出量削減を推進するとともに、
カーボンニュートラル・循環型社会の実現を支えるエネルギー・マテリアルの提供を通じて、
お客様のCO2排出量低減に貢献

当社バリューチェーン全体を通じたCO2排出量の特徴



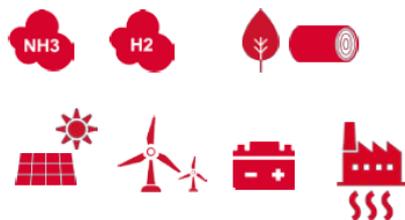
エネルギーをみんなにそしてクリーンに
当社 中期経営計画資料 2021年5月11日

※当社製品の使用に伴う

1. 会社紹介

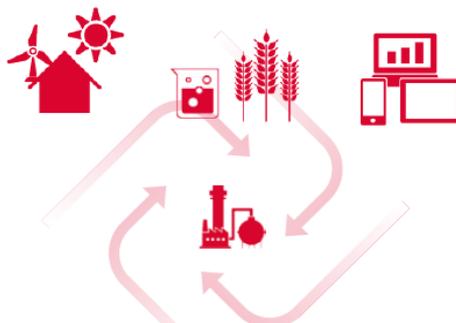
事業ポートフォリオ転換に向けた3つの事業領域

「3つの事業領域」の社会実装を通じて、事業ポートフォリオ転換を推進



一歩先のエネルギー

多様で地球環境に優しい
CNエネルギーの安定供給



多様な省資源・ 資源循環ソリューション

産業活動・一般消費者向けの
CNソリューション



スマートよろずや

地域の暮らしを支える
多様なエネルギー&モビリティ拠点

既存インフラを有効活用しながら

「人びとの暮らしを支える責任」と「未来の地球環境を守る責任」を果たす

目次

1. 会社紹介

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況

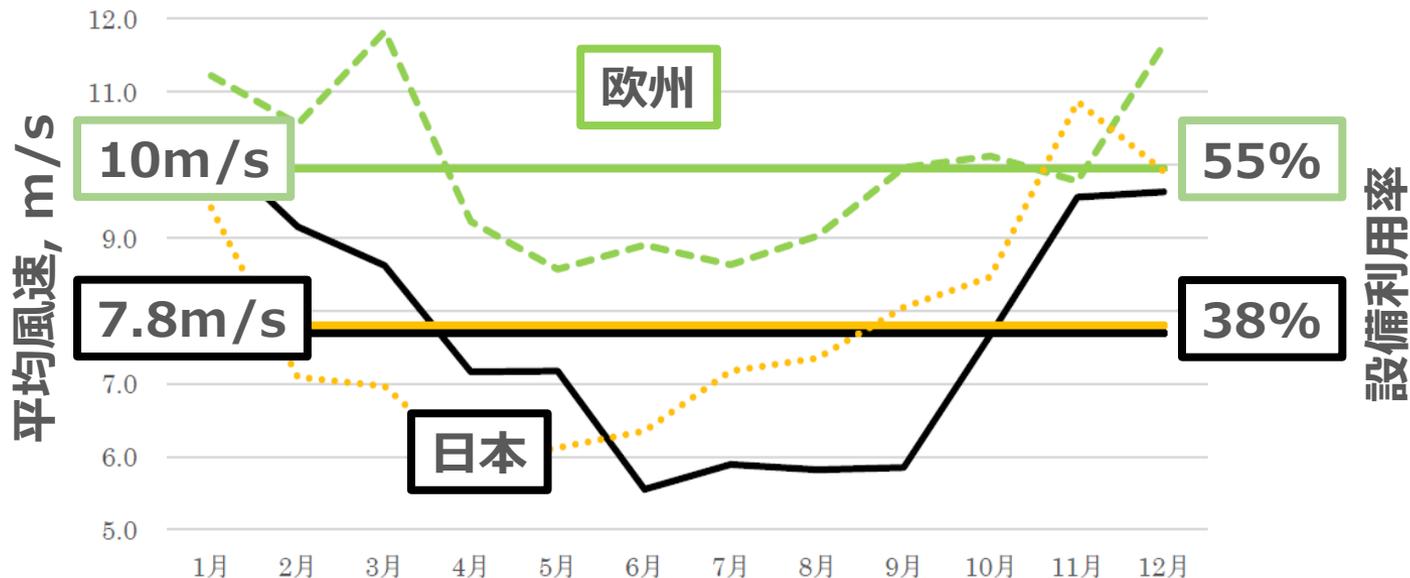
3. 本件開発事業の意義

4. 成果

5. 今後の課題とまとめ

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況 日本の国土に特徴的な風況

- ✓ 温帯モンスーン気候帯に位置し**夏に風が弱まる**
- ✓ 台風等による**暴風への対応**が必要 (IEC61400-1 Ed.4 / Class-T)
- ✓ 複雑地形により**乱流が発生**しやすい (IEC61400-1 Ed.4 / 乱流カテゴリA+)



月間平均風速及び設備利用率 (シミュレーション結果)

本部和彦,立花慶治 "風況の違いによる日本と欧州の洋上風力発電経済性の比較"

変化が激しく、起動・停止が頻繁

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況 日本における増速機故障の影響

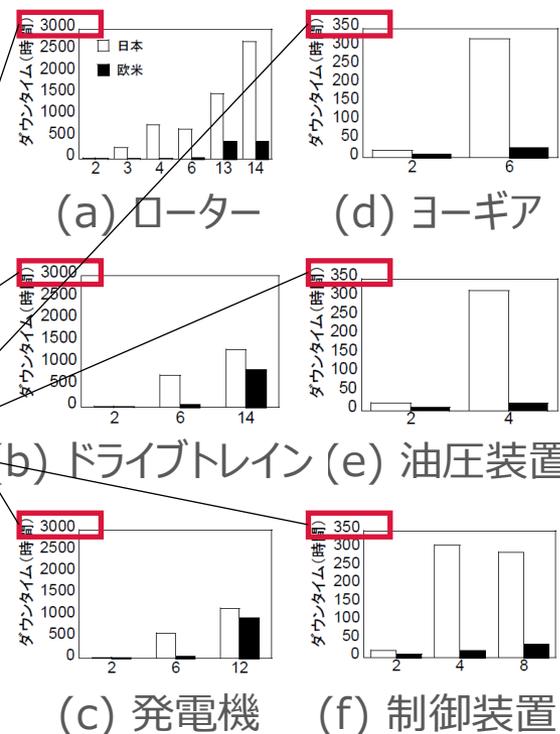
- ✓ ドライブトレイン(増速機、主軸軸受)は**中程度の損傷でも長期化**しやすい
- ✓ **中速軸の故障**は問題になりやすく**影響甚大**

□ 日本
■ 欧米

ダウンタイム縦軸最大値

(a)(b)(c) : 3000時間

(d)(e)(f) : 350時間

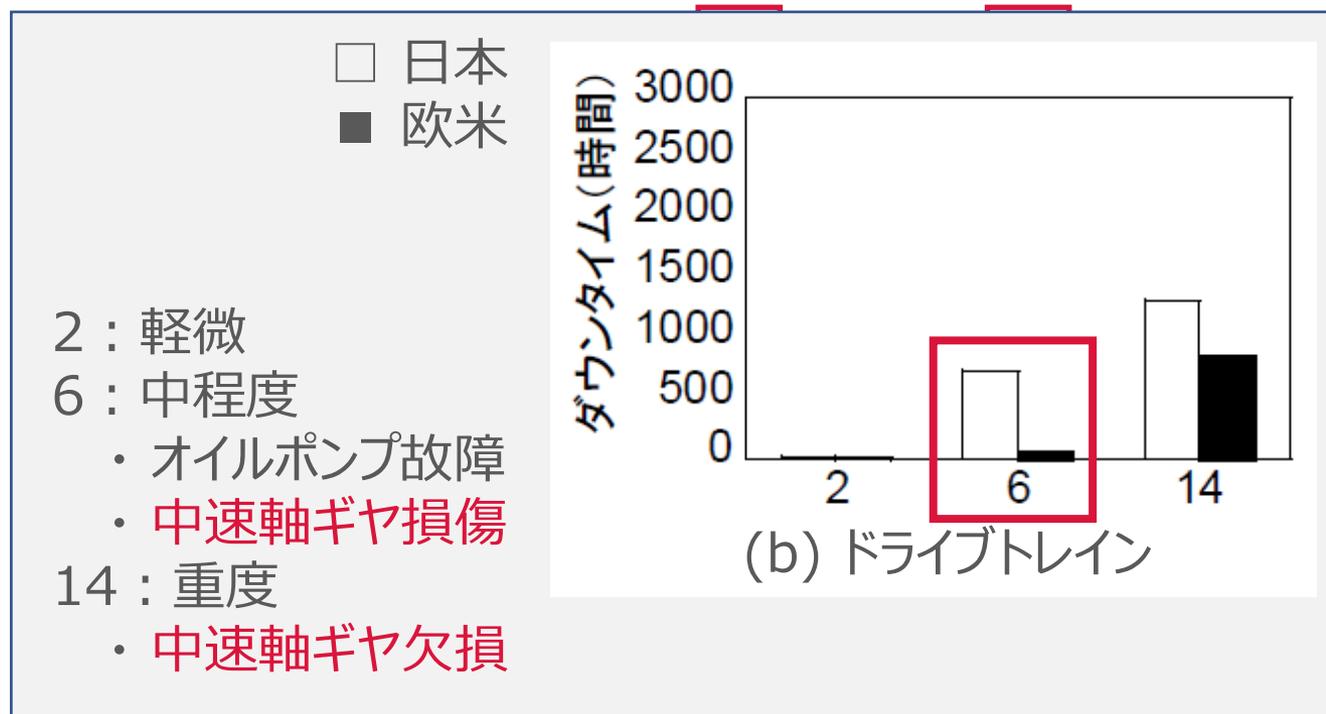


各ユニットの故障モードによるダウンタイムの日欧比較

菊地由佳ほか "風車の故障モード影響解析に基づく発電コストの評価と国際比較"

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況 日本における増速機故障の影響

- ✓ ドライブトレイン(増速機、主軸軸受)は**中程度の損傷でも長期化**しやすい
- ✓ **中速軸の故障**は問題になりやすく**影響甚大**

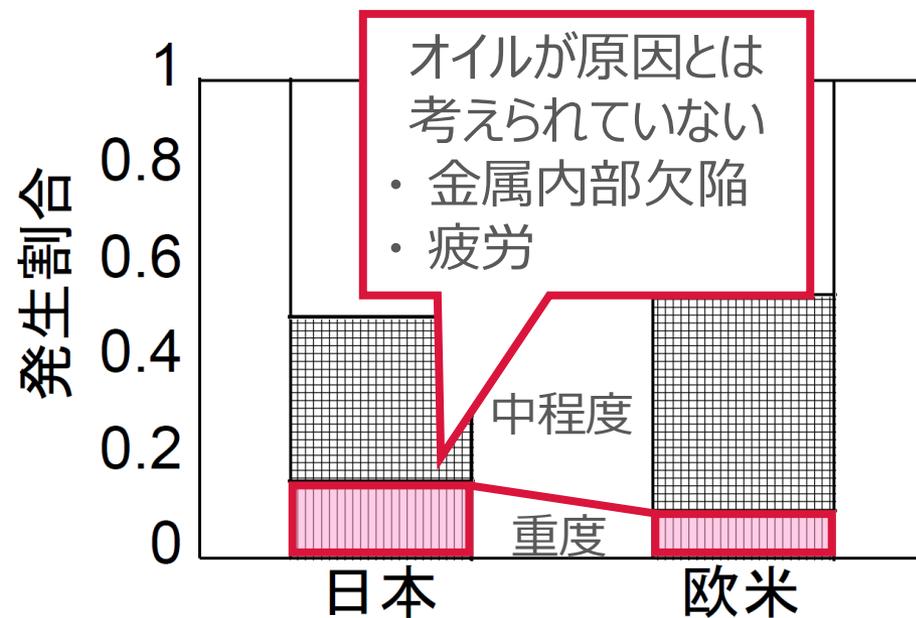
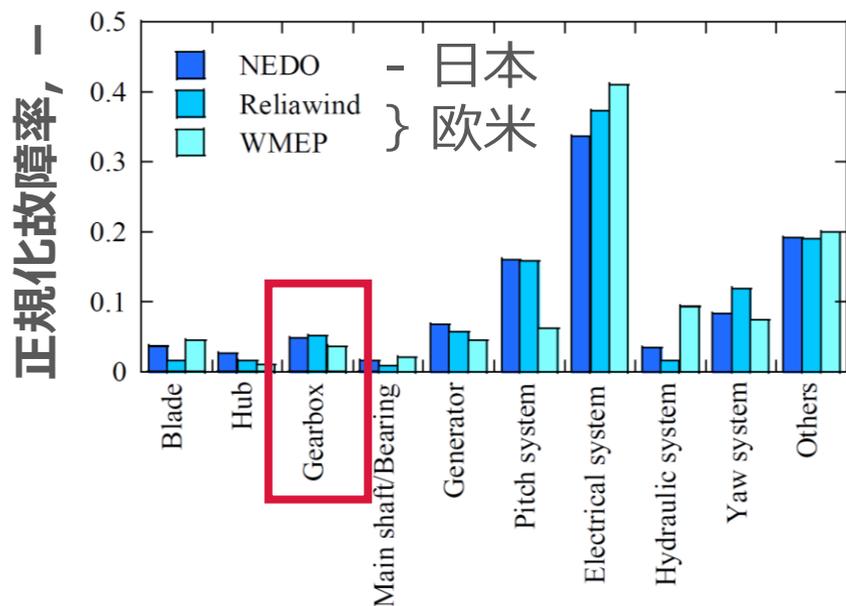


各ユニットの故障モードによるダウンスタイムの日欧比較

菊地由佳ほか "風車の故障モード影響解析に基づく発電コストの評価と国際比較"

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況 日本における増速機故障の状況

- ✓ ドライブトレインの故障割合は日欧で大きな差はない
- ✓ 故障が**重篤化しやすい** **欧州に比べて約2倍**



各ユニットの故障発生割合の日欧比較

Yuka Kikuchi and Takeshi Ishihara "Availability and LCOE Analysis Considering Failure Rate and Downtime for Onshore Wind Turbines in Japan"

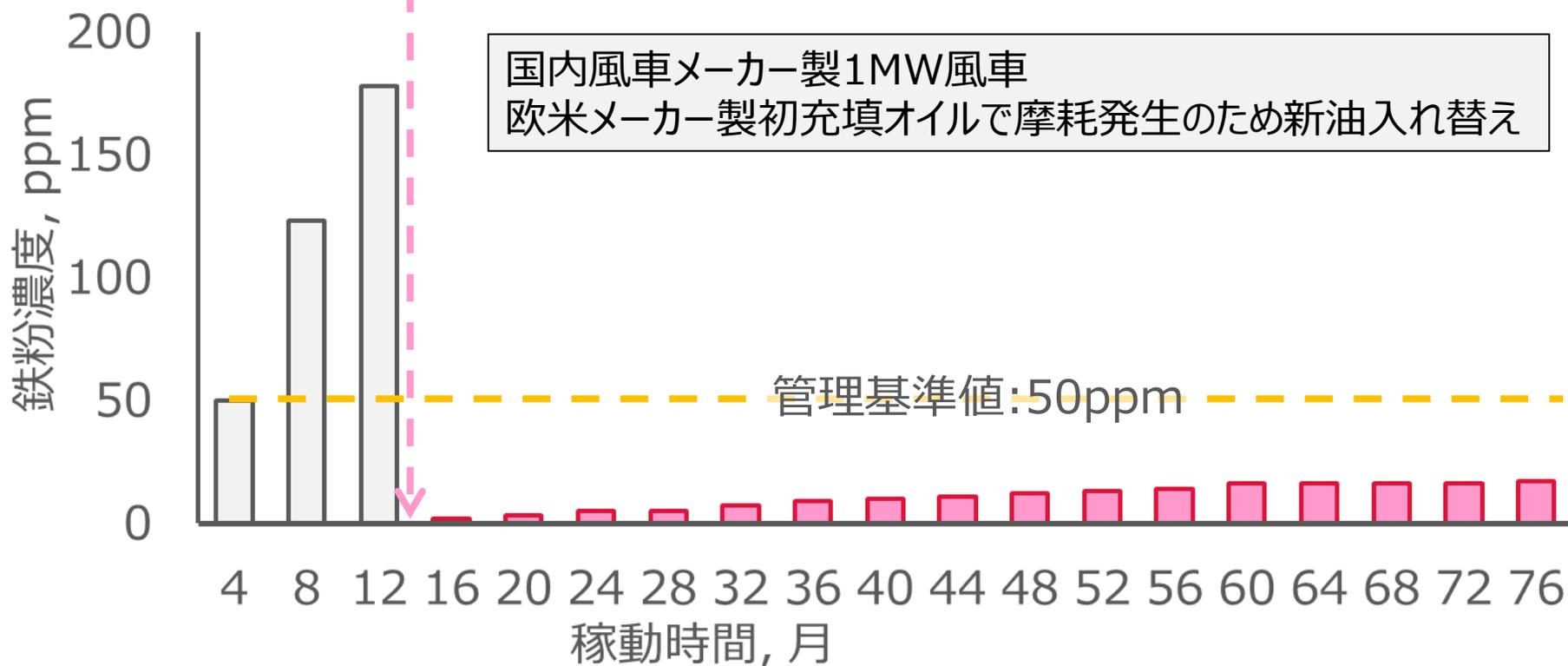
ドライブトレインにおける故障モード発生割合の日欧比較

菊地由佳ほか "風車の故障モード影響解析に基づく発電コストの評価と国際比較"

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況 日本の国土に適した増速機油の適用効果

✓ 国内環境想定で開発した増速機油で**摩耗が激減**することがある

海外メーカー製オイルから国産オイルに切り替え



摩耗が進行した実機増速機油中の鉄分濃度推移

目次

1. 会社紹介

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況

3. 本件開発事業の意義

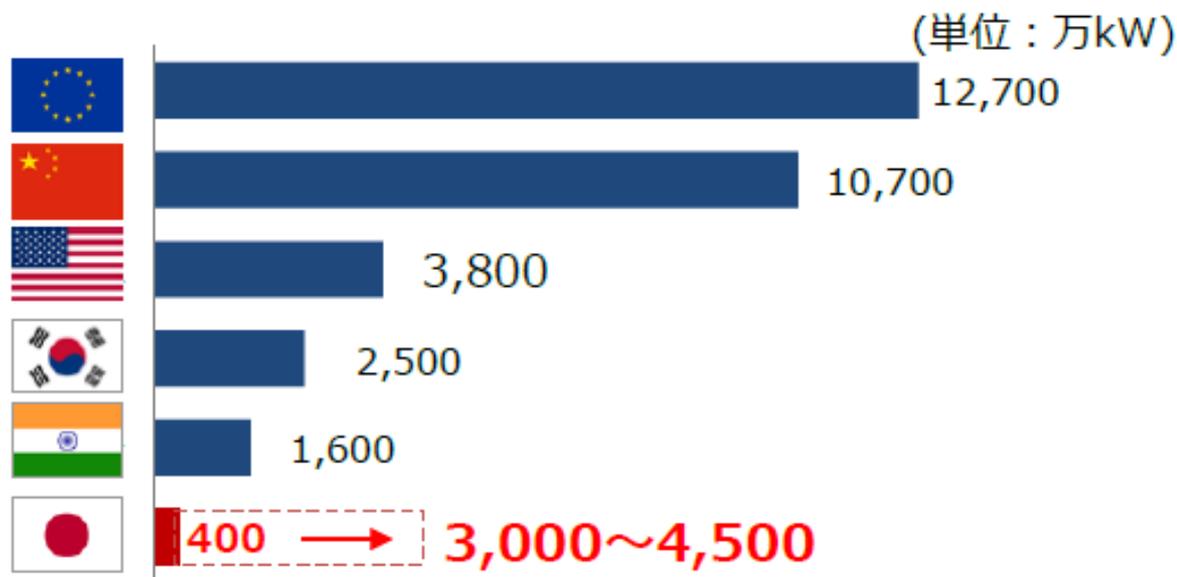
4. 成果

5. 今後の課題とまとめ

3. 本件開発事業の意義 日本の洋上風力発電導入目標

✓ 最大45GWの導入により**保全技術の高度化**の重要性高まる

IEAによる各国政府目標を踏まえた 洋上風力発電の導入予測(2040年)



(出所) IEA Offshore Wind Outlook 2019(公表政策シナリオ)

経産省 洋上風力産業ビジョン

3. 本件開発事業の意義 本プロジェクトの取り組み意義

✓ **日本の風土に適した油剤**の開発・提供により**O&Mコストの低減**に貢献する

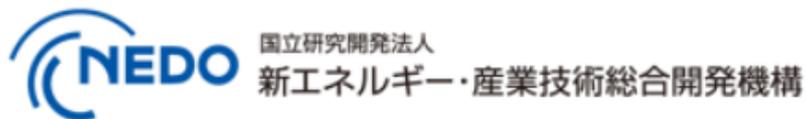
目的

洋上風車の軸受や歯車の**メンテナンスフリー化**に資するため、
計算科学を活用して、潤滑状態の可視化と理想的な潤滑基材
を提案し、**実験と解析**により、**オイルの最適化**手法を実現する

目標

オイルを15年間無交換で風車を運用・維持する
(オイル・グリースの平均交換頻度を5年→15年に向上する)

3. 本件開発事業の意義 事業体制と役割



高性能・長寿命オイル・グリースの開発

- ・基材設計と合成
- ・潤滑仕様設計と開発
- ・実証と影響解析

理論的解析による最適潤滑条件の予測

- ・マルチスケール**トライボシミュレーション**による解析
 - ・**マテリアルズインフォマティクス**技術の活用
- 要素評価（軸受の表面粗さの変化予測）
新規トライボナノマテリアル開発と検証

新規トライボ**ナノマテリアル**開発と検証

目次

1. 会社紹介

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況

3. 本件開発事業の意義

4. 成果

5. 今後の課題とまとめ

4. 成果

研究の進捗状況（検討結果の概要）

- ✓ 各種**加速試験**で現行ギヤ油対比**大幅な性能向上**を確認した
- ✓ **寿命15年**は高い確度で**達成**見込み

① IEC61400-4*の規定項目「EPオイルの酸化安定性評価 ASTM D2893」

⇒ 夾雑物生成(ミリポア値)大幅低減

* IEC61400-4:2012 Ed1.0

Wind turbines - Part 4 ;

Design requirements for wind turbine gearboxes

② IEC61400-4の推奨項目「FZGマイクロピッチング試験」

⇒ マイクロピッチング発生度合い半減

③ IEC61400-4の規定項目「FE8試験(stage1)」

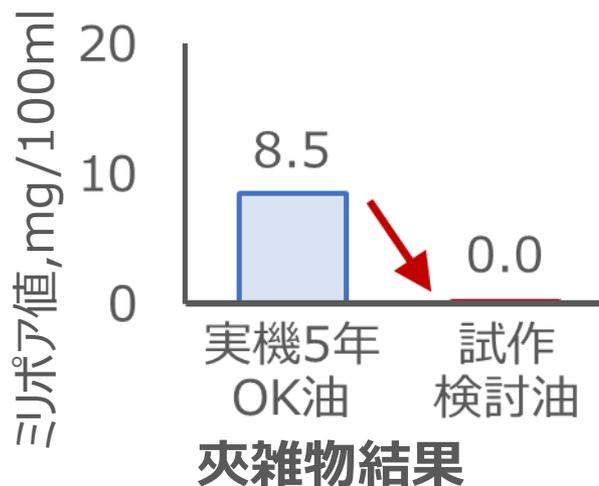
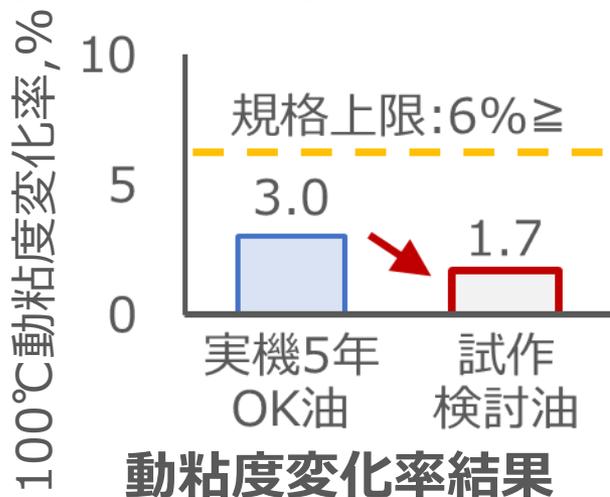
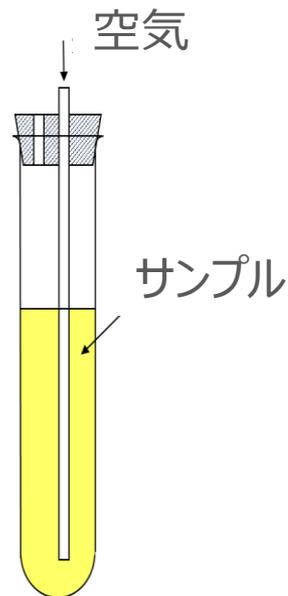
⇒ 軸受コロ摩耗量大幅低減

4. 成果

オイル酸化安定性試験結果

EP型オイルの酸化安定性試験条件 (ASTM D2893)

項目	条件
サンプル量	300 ml
油温	121 °C
触媒	なし
空気吹込量	10 L/時
時間	312 時間
評価項目	100°C動粘度変化率 夾雑物生成量(ミリポア値) シリンダ外観



シリンダ外観

4. 成果

ギヤ摩耗試験結果

DGMK-FZGマイクロピッチング ショート試験条件※ (GFKT-C/8.3/90)

項目	条件
ピニオン回転数	約2200 rpm
荷重ステージ	3/7/9 ステージ
各ステージ ピッチ点ヘルツ圧	510/1095/1397 MPa
油温	90±2℃(一定)
時間	1時間(@3st) 16時間(@7/9st)
ギヤ型式	Type C/GF
評価項目	ピニオン摩耗量 4歯平均ffm

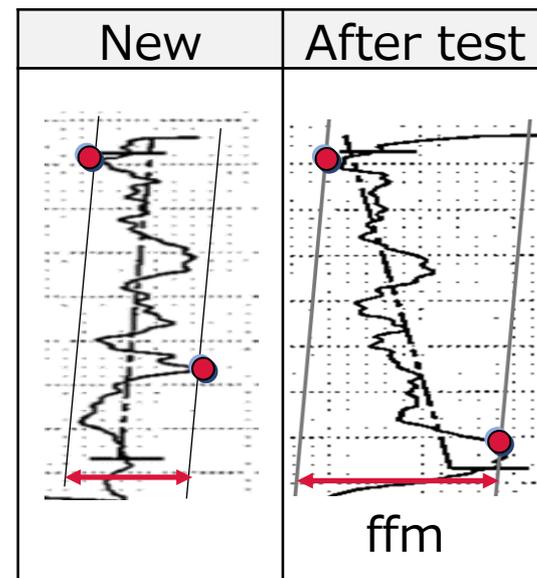


Type C ピニオン外観



測定器 : KLINGELNBERG P26

歯形測定



ffm概要

※ B.-R. Höhn et al. "Short Test Procedure for the investigation of the micro-pitting load capacity of gear lubricants"

4. 成果

ギヤ摩耗試験結果

DGMK-FZGマイクロピッチング

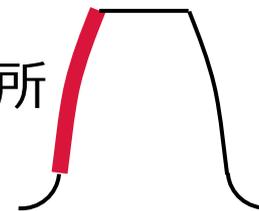
ショート試験条件※

(GFKT-C/8.3/90)



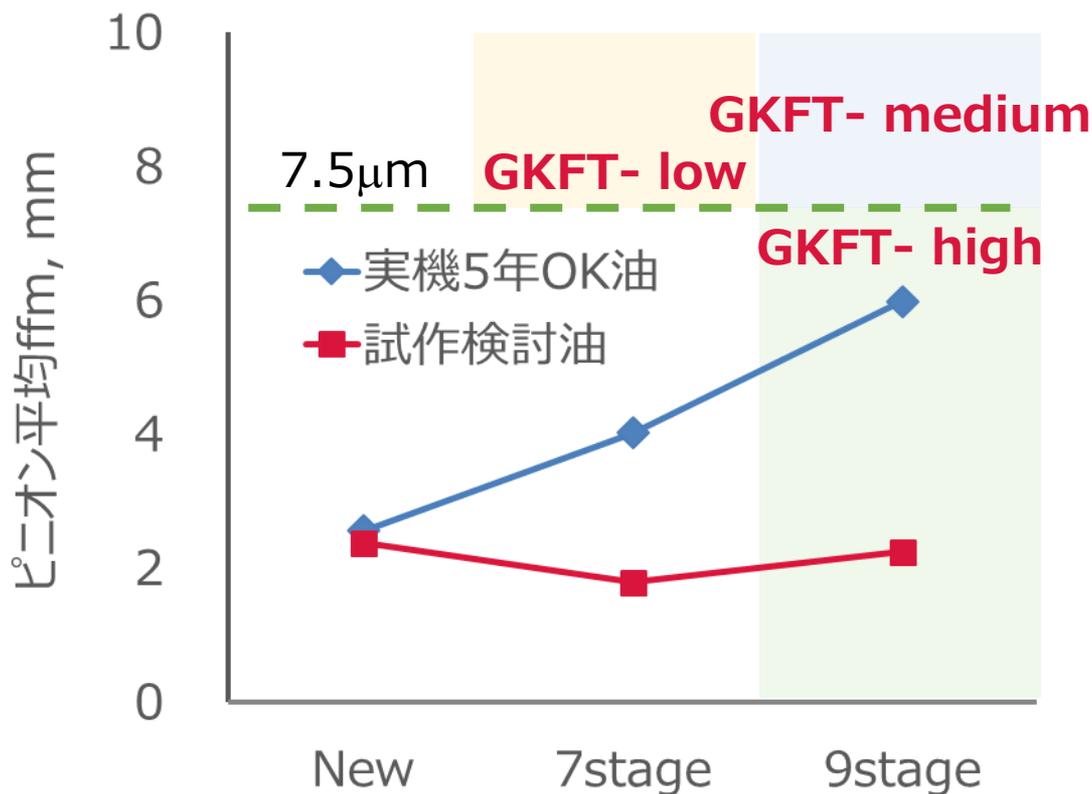
オン外観

測定箇所

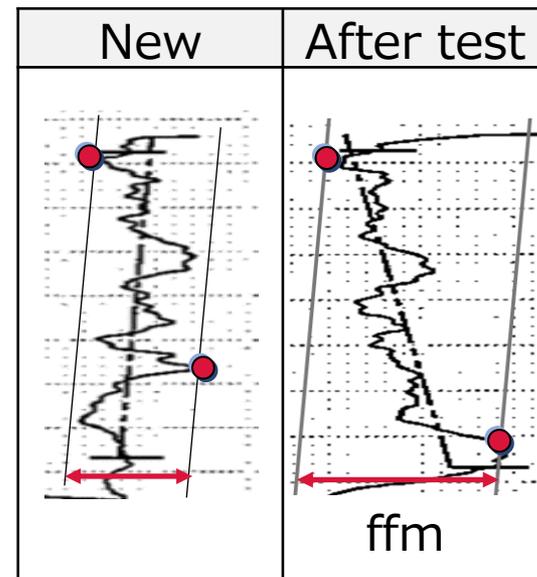


測定器：KLINGELNBERG P26

歯形測定



歯形摩耗ffmの比較



ffm概要

4. 成果

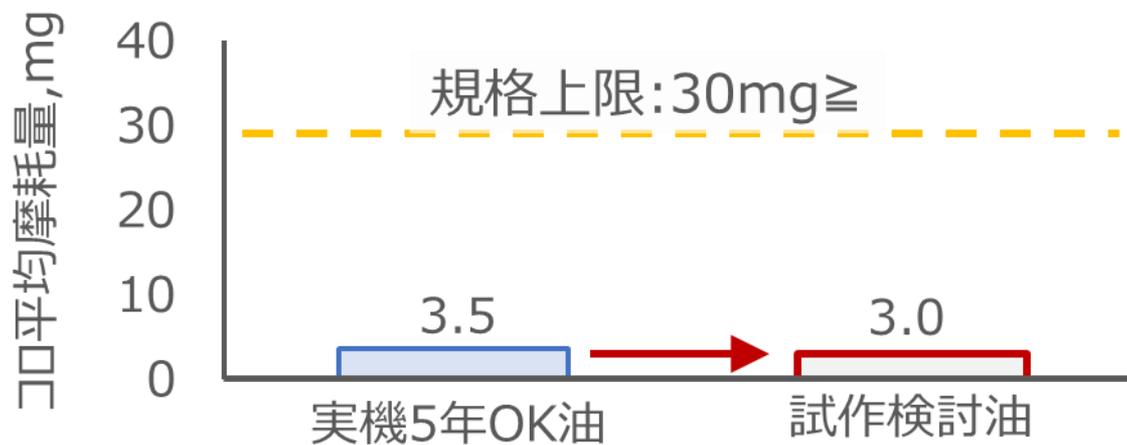
軸受摩耗試験結果

FE8 stage1 試験条件 (DIN 51819)

項目	条件
回転数	7.5 rpm
荷重	100 kN
軸受温度	80℃
時間	80時間
軸受タイプ	スラストころ
評価項目	コロ平均摩耗量



軸受開放時外観

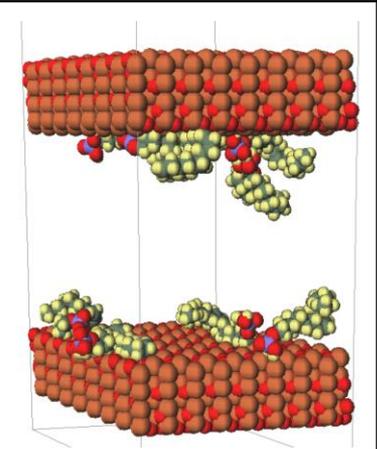
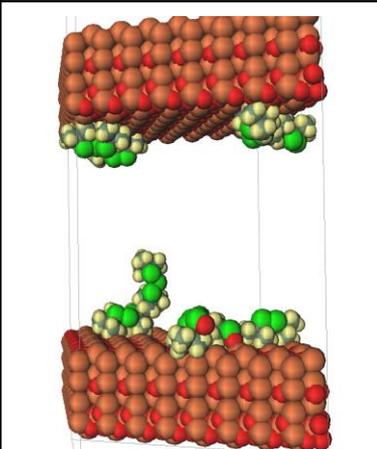
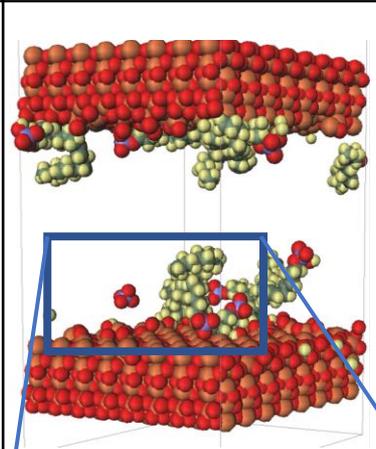
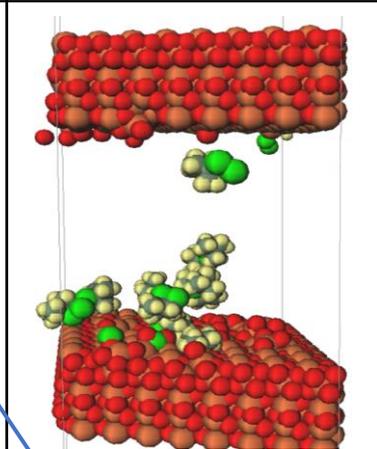


コロ摩耗量結果

4. 成果 添加剤の作用機構シミュレーション

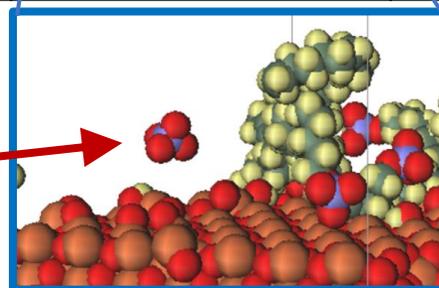
✓ 添加剤挙動のシミュレーション結果を**添加剤選定**、**化学構造設計**に活かす

温度の違いによる添加剤挙動シミュレーション結果

温度	300K (常温)		700K (金属接触部位)	
添加剤タイプ	P系	S系	P系	S系
分子挙動				

- P : リン
- S : イオウ
- C : 炭素
- O : 酸素

**リン酸基が分子構造から
乖離する挙動が認められた**



目次

1. 会社紹介

2. 日本の風土,風況における風力発電設備の故障状況

3. 本件開発事業の意義

4. 成果

5. 今後の課題とまとめ

5. 今後の課題とまとめ 今後の課題

スケジュール

- 2023年度：追加検証と**試作油作りこみ**
- 2024年度：風力発電所における**フィールド試験開始**
- 2025年度以降：風力発電設備メーカー**承認取得**と上市

課題

- ✓ 寿命15年の**客観的な検証**
- ✓ **風力発電所**におけるフィールド試験による**実用性能確認**
- ✓ 製品化と**社会実装**

5. 今後の課題とまとめ まとめ

- ✓ **日本**の風土は**暴風、乱流**への対応が必要で**欧州より厳しい**
- ✓ 今後の**洋上風力発電普及**に向けて**O&Mコスト低減**に寄与する**日本の風土に適した油剤**の開発が待たれる
- ✓ 本件において**寿命15年の増速機油**開発が**高い確度で達成**見込みである
- ✓ 来る風車最大導入時には**国産オイルが採用**されるべく引き続き先端技術を駆使して**次世代増速機油開発に挑戦**していく

真に働く

国・地域社会、そこに暮らす人々を想い、考えぬき、働きぬいているか。
日々自らを顧みて更なる成長を目指す。
かかる人が集い、一丸となって不可能を可能にする。

私たちは、高き理想と志を掲げ、挑み続ける。

経営の原点

人間尊重

ありがとうございました。