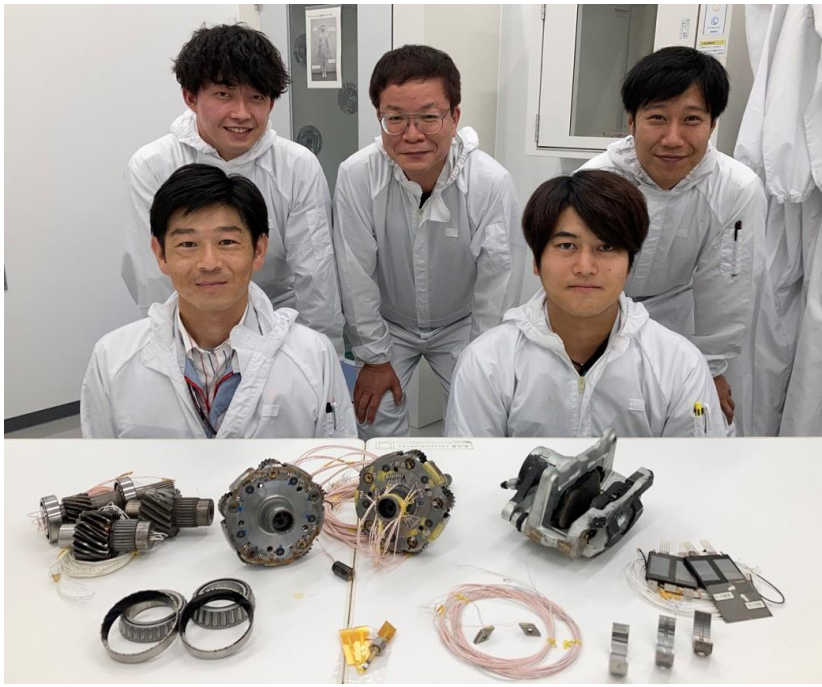


トヨタ自動車株式会社 本社技術

岩月 洸尚



発表のセールスポイント

品質への拘りが強いメンバーが集結したチームOKU (チームオク)。「お客様にはより良いモノをスピーディーに提供する」メンバーの想いが一つに。ベテランの経験、若手のデジタル活用で短期改善にチャレンジ!! チーム力を結集した改善成果と、サークルが成長した活動事例になります。

1.会社紹介

TOYOTA 愛知県豊田市
トヨタ自動車株式会社
【MISSION】「幸せを量産する」をミッションとし、製品の開発・製造・サービスに取り組んでいます
【職場紹介】『もっといいクルマ開発』
パワートレーンユニットエンジン 変速機
内部部品破壊メカニズム解明
薄膜センサ設計・製作を担当

2.薄膜センサ概要

薄膜センサとは 半導体製造技術に応用した膜型センサ
【構造】 10μm
部品 センサ膜 絶縁膜 強化膜 保護膜 下地膜
【センサ膜構成】 リード線部 受感部 0.6mm
計測原理 受感部が変形
部品自体をセンサ化
作用点のダイレクト計測可能
武器となる技術!

弊社は「幸せを量産する」のミッションのもと、製品・サービスを提供。我々の職場は、「もっといいクルマ開発」を使命とし、パワートレーンユニットの耐久性向上や設計改革につながる内部部品の破壊メカニズム解明に向けた計測のための薄膜センサ設計・製作を担当。

薄膜センサとは、半導体製造技術に応用した膜型センサで、直径0.6mmの受感部を含む厚さ10μmの積層膜を部品表面に成膜した構造。計測原理は、外部から力が掛かると受感部が変形し電圧を計測することで荷重などの計測が可能。薄膜センサは部品自体をセンサ化し、ダイレクト計測可能とする我々の武器となる技術。

3.サークル紹介

「チームOKU」サークル 結成：2019年 構成：5人
若手 デジタル得意
ベテラン 技術・技能豊富
【サークル名の由来】奥が深い薄膜センサ製作技能をチーム全員で極め、進化・成長
【サークルの想い】全員活躍

4.テーマ選定①

上位方針：お客様の事を考え、提供する“もの”“こと”の質向上にこだわり続ける
私たちの使命：スピード感を持って高品質なセンサを提供
取得期間：21/01~21/03
テーマ：ピニオンシャフト面圧センサ製作不良撲滅
チームワーク向上と多能工育成の後押しに

サークル診断
チームワーク
サークル能力
【課題】
・コロナ禍影響もあり情報共有が少なく個人商店化
・改善意欲は高いが得意分野が先行
【目指す姿】
・情報共有の促進
・技術、技能の伝承

ピニオンシャフトとは
変速機
遊星歯車機構
遊星歯車(ピニオン)
軸(ピニオンシャフト)
回転体(ニードル)

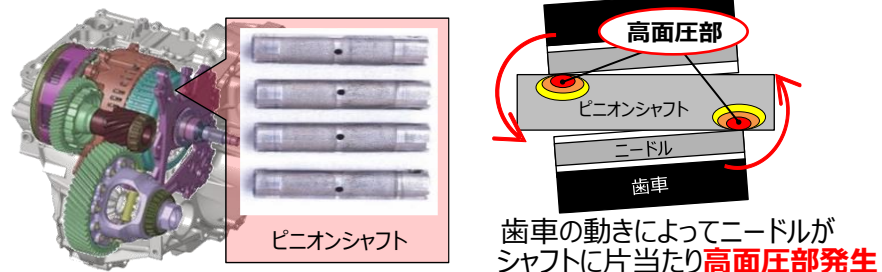
2019年にサークル結成。技術・技能豊富なベテランとデジタル得意な若手の計5人で構成。向上意欲は高いが、メンバー間の情報共有が少なく課題あり。また得意分野が先行し、多能工化が進まず、サークルレベルはCゾーン。

センサ製作不良の困りごとを洗い出した結果、ピニオンシャフト面圧センサ製作不良多発。提供納期が切迫し、お客様にご迷惑をかけてしまう可能性が高い本テーマに取り組む。ピニオンシャフトとは変速機に使用されている遊星歯車機構の構成部品で遊星歯車の軸となる部品。

QCサークル紹介
サークル名 (フリガナ) チームOKU (チームオク)
発表形式 PC
本部登録番号 177-217
メンバー構成 5名
平均年齢 35歳(最高 57歳、最低 24歳)
テーマ暦 本テーマで 7件目 社外発表 1件目
本テーマの活動期間 2021年 4月 ~ 2021年 7月
発表者の所属 計測・デジタル基盤改革部 計測・デジタル課 センサ・回路設計係 勤続 10年

5.テーマ選定②

新規開発変速機の耐久評価にて <ピニオンシャフト組付け断面>



高面圧部に薄膜センサ適用
面圧値確認
10μm
ピニオンシャフト
センサ膜
強化膜
保護膜
下地膜

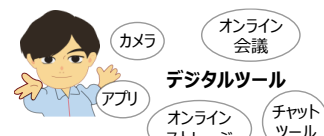
薄膜センサ製作
従来ピニオンシャフト
新開発ピニオンシャフト
○センサ製作不良なし
×センサ製作不良多発

変速機耐久評価で、歯車の動きによってニードルがピニオンシャフトに片当たりし、面圧が高い“高面圧部”が発生。高面圧部に薄膜センサを適用し面圧値を確認。しかし、従来ピニオンシャフトでは問題なかった薄膜センサ製作不良が新開発ピニオンシャフトでは多発。

6.活動計画

メンバー全員が主役

誰一人取り残されることなく
全員の意見・考えを素早く共有



活動計画

ステップ	担当	2021年											
		4月				5月				6月			
		1W	2W	3W	4W	1W	2W	3W	4W	1W	2W	3W	4W
テーマ選定	全員												
現状把握	奥田・岩月												
目標設定	全員												
要因解析	全員												
真因調査	加藤・岩月												
対策案検討	全員												
対策実施	山口・浅川												
効果確認	全員												
標準化	岩月												

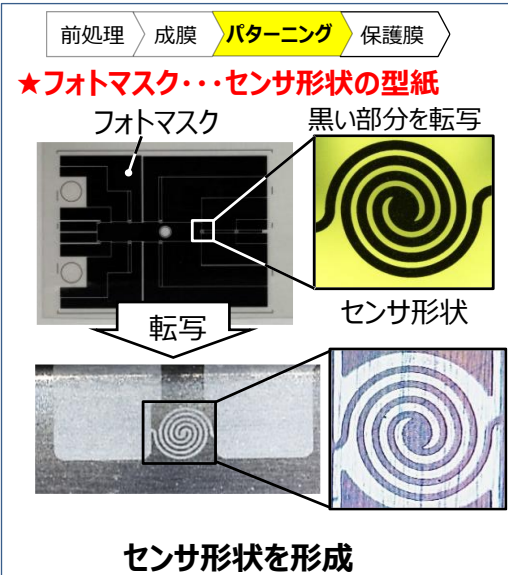
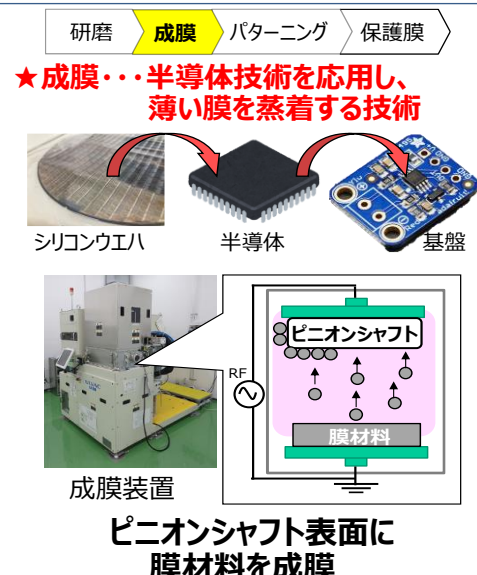
センサ提供納期
6月28日

7.薄膜センサ製作工程①

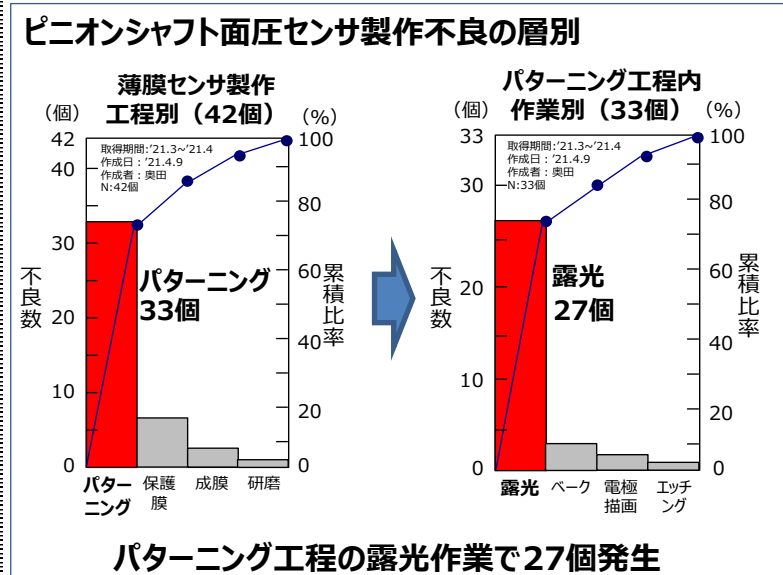


薄膜センサは4つの工程で製作。
最初の研磨工程は、部品表面を薄膜センサ厚み分を研磨し、鏡面仕上げに。

8.薄膜センサ製作工程②



9.現状把握①



次の成膜工程は、部品表面に膜を蒸着させる半導体技術を応用し、ピニオンシャフト表面にセンサ材料を成膜。
パターニング工程は、センサ形状の型紙となるフォトマスクでセンサ形状を転写し、センサ形成。
最後はセンサ膜表面の耐久性向上のため、刃具にも使用している保護膜蒸着工程を経て、薄膜センサが完成。

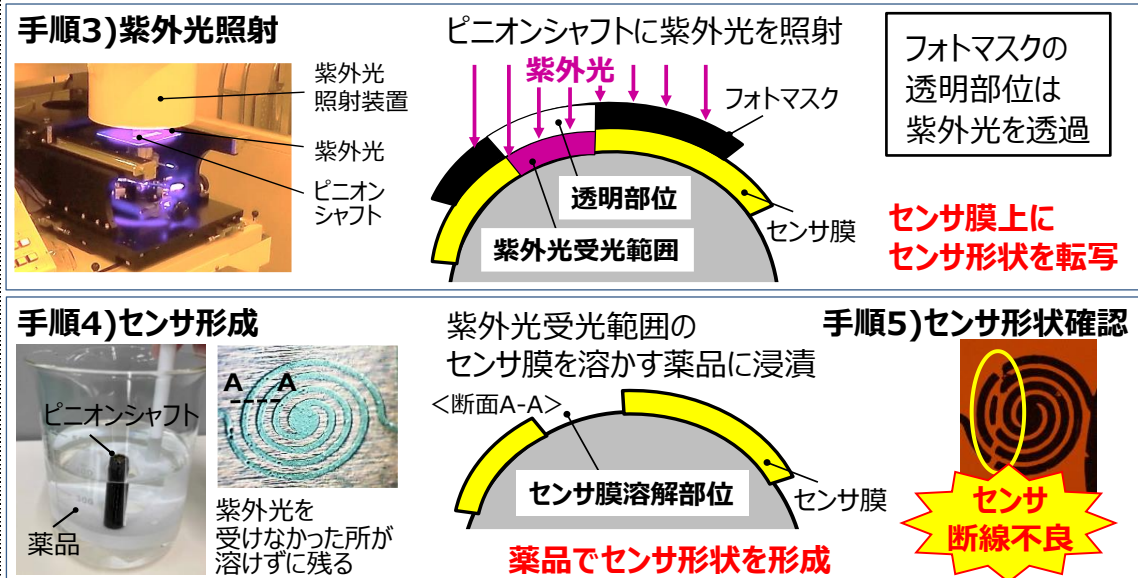
ピニオンシャフトの製作不良数は、工程別ではパターニング工程で33個発生。パターニング工程を作業別で分解すると、露光作業で27個発生。

10.現状把握② ～露光作業手順1),2)～



不良発生場所を特定するため露光作業の手順を確認。
手順1)紫外光に反応する感光剤を厚みムラなく塗布し、オープンで焼き固め。
手順2)感光剤塗布面にセンサ形状の型紙となるフォトマスクを巻き付け、曲面に密着するようにマグネットで固定。

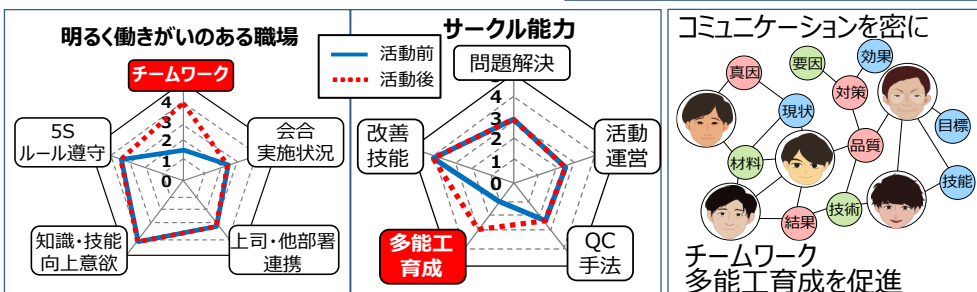
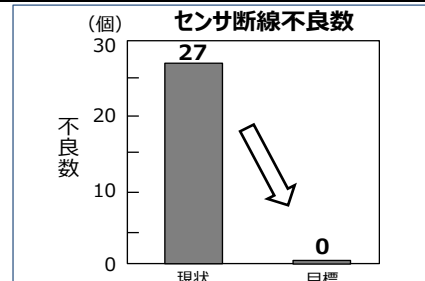
11.現状把握③ ～露光作業手順3),4),5)～



手順3)フォトマスクの上から紫外光を照射しセンサ形状を転写。
手順4)紫外光受光範囲を溶かす薬品に浸漬することでセンサ形状を形成。
手順5)顕微鏡でセンサ形状を確認して完成だが、ここで断線不良発見。

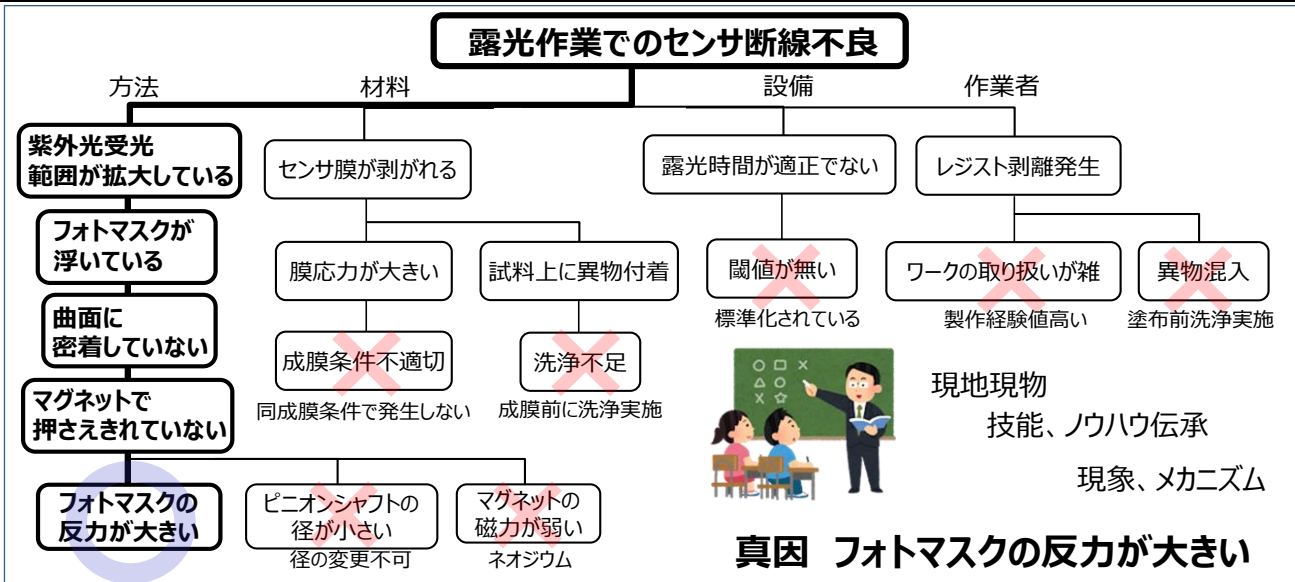
12.目標設定

	目標
なにを	露光作業でのセンサ断線不良27個を
いつまでに	6月28日までに
どうする	撲滅する



露光作業でのセンサ断線不良27個を6月28日までに撲滅。
サークル目標はコミュニケーションを密にチームワーク向上と多能工育成の促進を目指す。

13.要因解析



現地現物で技能・ノウハウの伝承と発生している現象やメカニズムを確認。
露光作業でのセンサ断線不良の要因解析の結果、紫外光受光範囲が拡大している→フォトマスクが浮いている→曲面に密着していない→マグネットで押さえきれていない、となり、「フォトマスクの反力が大きい」が真因に。

14. 真因調査① ~真因：フォトマスクの反力が大きい~

フォトマスクの反力とは

巻き付け
175µm
フォトマスク
ピンオンシャフト (円柱形状)
フォトマスク巻き付け断面図
マグネット
ピンオンシャフト
反力
巻き付けた時、フォトマスクが元の形状に戻る力

従来品と開発品比較

従来品 Φ13.8mm
開発品 Φ10.4mm
小径化

巻き付け荷重測定
フォースゲージ
ピンオンシャフト
フォースゲージで荷重測定
従来品：0.14kgf
開発品：0.32kgf
2.3倍
開発品の小径化によりフォトマスクの反力が大きくなる

フォトマスクの反力とは、フォトマスクをピンオンシャフトに巻き付けた時、元の形状に戻ろうとする力。ピンオンシャフトの形状を確認すると、問題なかった従来品に対し開発品は小径化されているため、巻き付け荷重は2.3倍となっており、開発品の小径化によりフォトマスク反力が大きくなる。

16. 対策立案①

フォトマスクの薄型化案を採用

対策案	予想効果	コスト	工数	実現性	評価	採否
マスクを柔らかく						
マスク薄型化	○	○	△	○	7	採
マスクを熱する	△	○	△	△	5	否
マグネット増加	○	△	×	△	4	否
固定方法変更						
マグネットを大きく	△	△	△	△	4	否

○2点 △1点 ×0点

フォトマスクの反力を小さくするには

フォトマスク構造

175.35µm
断面A-A
センサ部
ベース部
感光膜 0.35µm
PETフィルム 175µm

外注にてレーザー設備で製作
外注での薄型化不可

ベース部材をもう少し薄く出来ませんか？
加工設備が175µm専用となっているため出来ません

フォトマスク反力を小さくするために対策案を検討。マスクを柔らかくする方向性となり、薄型化案を採用。フォトマスクは外注製作しており、ベース部とセンサ部の2層構造。ベース部を薄くできないか問い合わせると、「専用品のため、厚さ変更不可」との回答。

18. 対策実施①

ペア活動
若手 ベテラン
DATA
情報共有：チャットツール
検証方法、計測結果：クラウド管理

積極的な発信によるチームの活性化
若手 ベテラン
デジタル技術 ⇄ デジタルスキル向上
多能工育成 ⇄ 知識・技能デジタル化
多能工化に向けた教え合う風土醸成を目指す

課題① ベース部材料と厚み検討
耐薬品調査
耐酸 △
耐溶剤 ×
塩ビ △
PP △
PET ○

耐薬品調査
耐酸 △
耐溶剤 ×
塩ビ △
PP △
PET ○

機械特性調査
ベース部材料厚 (µm)
175 (標準)
100
50

反力 (kgf)
0.32
0.17
0.05

熱収縮性 (%)
0.7
0.3
0.2

目標反力0.14kgf以下
検証結果はクラウド入れたよ

①PETフィルム 50µm
ベース部材料：PETフィルム、厚み：50µmを採用

課題解決に向け、ベテランと若手がペアとなりチームの活性化を目的に教え合う風土醸成を目指す。課題①ベース部材料は耐薬品結果からPETフィルムを採用し、厚みは目標反力0.14kgf以下の50µmを採用。

20. 対策実施③ ~内製フォトマスク製作トライ~

採用した構成で内製フォトマスク製作トライ

センサ部 ②Ti (チタン) 0.2µm
ベース部 ①PETフィルム 50µm

しかし
PETフィルム表面からTiの剥がれ発生

要因解析
材料：酸化被膜除去不足、表面酸化異常摩耗、ワーク発ガス、水分混入ポンプ故障、配管破損
方法：原子結合不良、油脂付着、洗浄不足、密着不足
真因：PETフィルムの表面処理不足
新たな課題：Tiの剥がれ
課題③：PETフィルムの表面処理

採用した構成でPETフィルムにTi材料を成膜トライ。しかし、Tiの剥がれ発生。剥がれの要因解析をすると、「PETフィルムの表面処理不足」が真因となり、新たにPETフィルムの表面処理の課題解決が必要に。

15. 真因調査②

フォトマスク浮き確認
浮きイメージ断面図 ×20倍
正常 (密着) 異常 (浮き)
反力が大きいとフォトマスクは浮きやすい

従来品 ×100倍
開発品 (小径) ×100倍
正常 (密着) 異常 (浮き)
フォトマスクの影
フォトマスクが浮くと影ができる

浮きによる紫外光受光範囲
紫外光受光範囲 拡大
浮きがあると紫外光受光範囲が拡大
⇒薬品でセンサ膜が溶ける範囲拡大
⇒断線不良発生

浮きの良品条件検証
浮き量n増し
断線あり 断線なし
9.9µm以下は断線なし
部位別 (傾向あり)
浮き量 (µm)
25 20 15 10 5 0
n数 (回) 10 20 30
左端 中央 右端
浮き量を9.9µm以下にするため反力を小さく

反力が大きいと、フォトマスクは浮きやすくなり、浮くと影ができる。浮き状態で紫外光を照射すると、紫外光受光範囲が拡大。それに伴い薬品で溶ける範囲も拡大するため断線不良発生。浮きの良品条件を検証すると9.9µm以下は断線しないことが判明。浮き量を9.9µm以下にするため、反力を小さくする必要がある。

17. 対策立案②

場合に对策検討
ちょっと待って！
ピンオンシャフト 歯車
加工設備がない どうしよう…
我々の成膜技術が応用できるのでは？

外注フォトマスク 175µm
内製フォトマスク ? µm (175µm以下)
転写
外注の厚いフォトマスクを利用し内製で薄いフォトマスクを製作

薄くて柔らかい『内製フォトマスク』製作課題洗出し
従来ピンオンシャフト+外注フォトマスク反力
目標反力：0.14kgf以下
課題①：ベース部材料と厚み
課題②：センサ部材料と厚み

『内製フォトマスク構造』
センサ部 課題②：材料：厚み
ベース部 課題①：材料：厚み

会合で悩んでいると、「我々の成膜技術が使えるのでは？」との意見。それをヒントに薄膜センサ製作技術を応用し、内製で薄いフォトマスクを製作することに。薄くて柔らかい『内製フォトマスク』製作を実現するため、反力0.14kgfを目標とし、「ベース部材料と厚み」「センサ部材料と厚み」2つの課題解決が必要。

19. 対策実施②

課題② センサ部材料と厚み検討
薄膜製造技術でベース部に膜を蒸着
蒸着品を曲げてピンオンシャフトに巻き付ける
割れ
蒸着した膜が割れると断線不良となる

過去知見(別材質で成膜実績あり)
過去の知見まとめて共有するね
各種膜を曲面に巻付け
顕微鏡で割れ確認

膜割れ&コスト調査
膜種 膜厚 (µm) 膜割れ コスト (円)
Al 0.4 △ 6
Cr 0.2 × 6
Ti 0.2 ○ 5

センサ部 ②Ti (チタン) 0.2µm
ベース部 ①PETフィルム 50µm
センサ部材料：Ti 厚み：0.2µmを採用

課題②薄膜製造技術でベース部に膜の蒸着後、蒸着品を曲げてピンオンシャフトに巻き付ける。巻きつけたことで蒸着した膜が割れると断線不良となる。過去の知見より、センサ部材料は曲面に巻き付けても膜が割れないTi、厚みは0.2µmを採用。

21. 対策実施④ ~新たな課題解決~

現状Ti材料を成膜するときの表面処理
成膜対象物 酸化被膜
Arガス 成膜した材料が剥がれない処理
Ti Ti Ti Ti
剥がれなし

メタル系 酸化被膜あり 効果あり
樹脂系 酸化被膜なし 効果なし

PETフィルム表面処理
仕上げ塗料密着性向上の為
下塗り剤で表面の状態を変化
趣味：DIY 塗装
O₂ガスが効果ありそう
PETフィルム表面の状態を変化させる

表面処理：Ar+O₂ガス密着確認
極性基(OH基)が重要！
Ar⁺、O₂が反応し主鎖を分解、極性基に変換
O₂追加で効果抜群

現状表面処理はArガスで対象物表面の酸化被膜を除去し、剥がれ防止実施。メタル系は効果あるが、酸化被膜のない樹脂系は効果なし。その時、DIYが趣味のベテランから「塗装のとき、下塗り剤で表面状態を変化させているよ」とのこと。「同様に表面状態を変化させれば」。薄膜技術の大ベテランに相談すると、O₂ガスが効果ありとのこと。ArガスにO₂ガスを追加し、確認すると効果抜群。

22. 対策実施⑤ ～内製フォトマスク製作再トライ～

内製フォトマスク製作条件

センサ部	②Ti (チタン) 0.2μm
ベース部	①PETフィルム 50μm

③Ar+O₂表面処理追加 PETフィルムにTi材料を成膜 **Tiの剥がれ無し**

内製フォトマスクのパターン形成① 薄膜センサと同じ工程を実施

Tiを成膜したPETフィルム → 感光剤塗布 → センサ形状 → 原版設置

ArとO₂による混合ガスの表面処理を追加することで、Tiは剥がれることなく成膜成功。パターン形成は薄膜センサと同じ工程を実施。まずTi成膜面に感光剤を塗布し、その上にセンサ形状の原版を設置。

23. 対策実施⑥

内製フォトマスクのパターン形成② センサ形状確認

紫外光照射 → センサ形成 → センサ形状確認 (×100倍)

外注フォトマスク形状をPETフィルムに転写 → Tiを溶かす薬品に浸漬 → PETフィルム表面に転写した形状剥がれ、断線なし

内製フォトマスク反力検証
内製フォトマスク構成: ②Ti (チタン) 0.2μm, ①PETフィルム 50μm, ③Ar+O₂表面処理
目標反力: 0.14kgf以下
実測反力: 0.05kgf

内製フォトマスクで浮き量の確認

浮き量n増し 9.9μm以下
部位別 最大浮き量: 8.9μm以下, 最大浮き量: 6.3μm

薄型 50.2μm 『内製フォトマスク』完成

センサ形状を転写するため紫外光を照射し、薬品でセンサ形成を実施。転写されたセンサ形状に剥がれ、断線なし。内製フォトマスクの反力検証結果は、実測反力0.05kgfとなり、目標反力を達成。ピニオンシャフトに巻き付け、浮き量を確認すると狙い浮き量をクリア。目指していた薄型『内製フォトマスク』完成。

24. 効果確認① ～『内製フォトマスク』でのピニオンシャフトへの露光～

『内製フォトマスク』の効果確認

内製フォトマスクをピニオンシャフトに巻き付け → 追加作業! 顕微鏡 → 正常: 密着 人による目視確認

内製フォトマスクの密着確認

紫外光照射 → センサ形成 → センサ形状確認 (×100倍) → 薄型『内製フォトマスク』効果 (50.2μm)

ピニオンシャフト表面に転写されたセンサ形状 センサ断線不良なし

『内製フォトマスク』の効果を確認するため、ピニオンシャフトへの露光作業を実施。内製フォトマスクをピニオンシャフトに巻き付け、フォトマスク密着の目視確認作業を追加。紫外光照射とセンサ形成を経て、ピニオンシャフトのセンサ形状を確認するとセンサ断線不良なし。薄型の『内製フォトマスク』の効果は○(まる)。

25. 効果確認②

センサ断線不良数

現状: 27, 目標: 0, 対策後: 0 (目標達成)

活動計画 (2021年): 4月, 5月, 6月

デジタルツール活用で情報共有の効率化
ベテランの積極的な情報発信
納期通り対策完了

しかし・・・フォトマスクの密着確認作業を追加したのはいいけど

密着確認作業は、人による判断バラツキが出る細かい作業で体に負担。画像判定の自動化で生産性向上を目指さない!?

あと1歩先へ、品質に拘って仕事の質向上を目指します

誰でも同じ判断ができる様 デジタルツールで**工程改革**に挑戦!

センサ断線不良数は0個となり目標達成し納期通り対策完了。しかし、フォトマスク密着確認を追加したことで、人の判断による見逃し不安や細かい作業で体に負担が・・・品質への拘りと、仕事の質向上に向け、誰でも同じ判断ができる工程改革に挑戦。

26. 追加対策立案

デジタルツールの検討

社内ネットワークで相談 → 正常(密着) vs 異常(浮き) → デジタルツールで判定できますか?

AI教育を紹介

AI基礎習得

AI教育カリキュラム: AIの概論, Python(言語)基礎, エッジ機器セットアップ, Pythonプログラム演習, 深層学習 etc.

追加対策の活動計画

実施内容	担当	1w	2w	3w
学習PG作成	岩月・奥田			
学習画像撮影	全員			
繰り返し学習	加藤・浅川			
システム構築	岩月・山口			

全員でAI習得と追加対策実施

人による判断バラツキを無くすため、社内ネットワークを通じて有識者に相談するとAIの画像認識で判定可能との回答。AI教育を紹介いただき受講しプログラミングの基礎を習得。AI判定に向け追加対策の活動計画を立案。

27. 追加対策実施と効果確認

密着判定プログラム作成

AI勉強会 → 完成すれば誰でも簡単に作業出来ます

学習画像撮影 → 特徴算出 → 繰り返し学習

学習画像 400枚以上撮影

AI判定システム構築 密着確認作業のDX化により誰でも簡単に同じ判断可能

効果確認

AI判定精度: 96.7%

判定結果表示: print('マスクが浮いています') else: print('マスクは密着しています')

『内製フォトマスク』製作確立
確認作業のDX化
製作不良撲滅を目指した工程改革を実現

習得したAI基礎を会合で展開しベテランも巻き込むことに。AI学習用画像を撮影し学習プログラムを繰り返し実施。撮影画像を読み込ませて判定確認すると96.7%の判定精度まで到達。誰でも簡単に密着確認作業可能に。『内製フォトマスク』製作確立と確認作業のデジタル化により製作不良撲滅を目指した工程改革を実現。

28. 標準化と今後

標準化

実施項目	Why (なぜ)	What (なにを)	When (いつ)	Who (だれが)	どのように (How)
センサ製作 レシピ作成	誰がやってもできるように	作業方法を	'21/7	センサ製作者	手順書を作成する
過去トラ 作成	密着確保の為	フィルムマスク 作成要領	'21/7	センサ製作者	作成する

情報のクラウド管理

AI判定能力向上

- 学習精度向上
- 判定処理速度向上
- リアルタイム判定によるインライン化

LEVEL UP

標準化はメンバー全員が同じ品質で製作できる様、センサ製作の手順書作成やセンサ断線再発防止のために過去トラを作成。クラウド管理でいつでも共有可能に。今後はAI判定能力向上のため、学習精度向上や判定処理速度向上を目指す。

29. 活動の振り返り

追加対策含め 提供納期までに対策完了

・若手のリーダーシップによる情報共有の効率化
・メンバー間の活発なコミュニケーション
・ベテランのデジタルへの関心

チームが活性化され 刺激し合えるサークルに成長

サークル診断

明るく働きたいのある職場

チームワーク, 改善技能, 多能工育成, QC手法

サークル能力: 問題解決, 活動運営

全員活躍!!

スピード感ある活動となり、追加対策含め提供納期までに対策完了。また、若手のリーダーシップによる情報共有の効率化と活発なコミュニケーションでチームが活性化され刺激し合えるサークルに成長。サークル診断はチームワークと多能工育成が向上し、サークルレベルはBゾーンに。今後も情報共有で全員活躍できる職場を目指す。