

箔破れ不良の撲滅

会社・事業所名(フリガナ)

プライムアース イービーエナジー カブシキガイシャ ギジュツホンブ
プライムアースEVエナジー 株式会社 技術本部

発表者名(フリガナ)

オオタニ ユキ
大谷 柚葵



発表のセールスポイント

「クリーンエネルギー車」の市場急拡大で新規電池開発が急務の中、開発の遅れを発生させないため、試作の困り事を原理原則に則り、若手メンバーが先輩の指導を受けながら取り組んだ活動です。

TOYOTA **Panasonic**

トヨタ様・パナソニック様のDNAを受け継いだ

プライムアースEVエナジー(株)

1996年12月設立



テーマ:箔破れ不良の撲滅

「シューイチII シーズンsecond」サークル

会社紹介 2

プライムアースEVエナジー株式会社

静岡県湖西市の本社

豊田佐吉記念館

▲豊田佐吉翁像 ▲生家(1990年復元) ▲展示物一例(G型機種)

生産拠点

関連会社 CPAB (中国江蘇省)

宮城工場 (宮城県黒川郡)

境宿工場 本社 新居工場 大森工場 (静岡県浜西市)

これまで約2300万台の実績を誇る電動車向け車載用電池メーカー

会社製品紹介 3

クルマに合わせた形や性能に進化し続ける電池をお届け (プリウスの例)

車種	初代プリウス	2代目プリウス	3代目プリウス	プリウスα(3列)	4代目プリウス
期間	1997年12月～	2000年5月～	2003年7月～	2009年5月～	2011年5月～2014年9月
電池	円筒型ニッケル水素電池	角型ニッケル水素電池	新角型ニッケル水素電池	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池
セル/モジュール	セル/モジュール 出力 600～800W/kg	6セル一体モジュール 出力 1000W/kg	6セル一体モジュール 出力 1300W/kg	56セル/パック	56セル/パック
容量	バックあたりの電池数 40M:240セル	バックあたりの電池数 38M:228セル	バックあたりの電池数 28M:168セル	バックあたりの電池数 56セル/パック	バックあたりの電池数 56セル/パック
エネルギー密度	モジュールAsys vs.円筒	±0%(容積) ±9%(質量)	±27%(容積) ±34%(質量)	High-Prime Nickel	High-Prime Nickel
電池	6割増	6割増	6割増	6割増	6割増

多数のハイブリット車に搭載されている電池を生産

QCサークル紹介	サークル名 (フリガナ)		発表形式	
	シューイチII シーズンsecond (シューイチツウ シーズンセカンド)		PC	
本部登録番号	1497-13	サークル結成年月	2018年	4月
メンバー構成	9名	会合は就業時間	内・外・ 両方	
平均年齢	31歳(最高 42歳、最低 19歳)	月あたりの会合回数	4回	
テーマ暦	本テーマで8件目 社外発表2件目	1回あたりの会合時間	2時間	
本テーマの活動期間	2022年4月～2022年9月	本テーマの会合回数	24回	
発表者の所属	電池実験部 試作課 電池試作1係	勤続	3年	

職場紹介 4

〔電池実験部 試作課〕
車載電池開発 → 量産 → 車

設計 → 評価 → 試作

新規開発において重要な試作を担当
車載用の角型セル試作を実施

■角型セル試作工程の流れ

今回は角型組立の端子接合での活動

職場紹介です。
私たちの所属する「電池実験部 試作課」は、新規電池開発において重要な試作を担当。
工程の流れは、源泉工程で電極を作製。組立工程で電極と部材を組立てセルを作製。
今回の活動は、角型組立の端子接合工程の改善活動です。

サークルレベル 5・6

長所：チームワーク
コミュニケーション
問題解決、サークル運営

短所：QC手法
多技能の向上

長所：活動への参加意欲
チームワーク

短所：サークル運営
多技能の向上

リーダーの想い
若手の力量を向上させ
サークルレベルUPを図る

サークル紹介です。
サークルは結成5年目、レベルはBゾーン。メンバーは9名で平均年齢は31歳。構成はベテラン・中堅・新人とバランスよく、明るく元気なサークルです。
今期の活動方針は、私たち新人の問題解決の進め方、QC手法など若手の力量向上によりサークルのレベルアップを図ります。

テーマ選定理由 7

課方針→試作不良による
ロス時間50%削減

■試作中の職場困り事

巻き止めテープ不良
箔破れ不良
スパイクリーク不良
封止不良
水分測定の工数
プレス機作業の工数

不良
生産性

■不良数と修正時間を調査

不良数	不良発生率	修正時間	ロス時間
巻き止めテープ不良	6	0.5h	3h
箔破れ不良	12	1.5h	18h
スパイクリーク不良	22	0.25h	5.5h
封止不良	17	0.25h	4.5h

期間：2020年4月～2022年3月末

■不良発生から再開までのロス時間

ロス時間が最も長い「箔破れ不良」をテーマに選定

テーマの選定理由です。
試作での困り事をメンバーで話し合い、課方針である「試作不良によるロス時間削減」を切り口に、不良数と、不良発生によるロス時間をバレット図で層別。
不良数ではスパイクリーク不良の項目が多く、ロス時間では箔破れ不良の項目が最も長いことが分かり、今回は箔破れ不良をテーマに選びました。

現状把握 8

■角型組立工程の流れ

大丈夫か？

端子接合
不良発生

調整の支援に行こう！

早く対策を打たないと！
箔破れ不良を撲滅するための恒久対策を打つ！

現状把握です。
組立工程は8つの工程で構成。箔破れは2つ目の端子接合工程で発生。
この工程は手順が少なく巨つ作業が複雑ではないため新人が担当。
しかし、箔破れ不良発生時は、先輩たちが自分の仕事を止めて調整応援。

現状把握 9

■角型組立工程の流れ

大丈夫か？

時間軸で発生頻度を整理

端子接合 箔破れ不良発生件数

慢性的に発生！

早く対策を打たないと！
箔破れ不良を撲滅するための恒久対策を打つ！

箔破れ不良の発生を時間軸で見ました。
過去2年の発生状況をグラフ化。慢性的に箔破れ不良が発生していることが分かります。
今まで、都度 応急処置として調整を行っていましたが、恒久対策を打つことが必要です。

現状把握 10

箔破れ不良について説明

超音波振動で接合

良品例
箔破れ不良例

端子接合部

セルと手のひら比較

箔破れの大きさは10mm以内

箔破れ不良の説明です。
まず、端子接合工程では、電池の心臓部「捲回体」と電流を取り出す端子を超音波接合で接合します。
箔破れ不良とは、端子接合後 接合部周辺に発生する、大きさ10mm以内の破れを言います。

目標設定 11

いつまでに
何を
どうする

新規開発を始める
10月までに
箔破れ不良を
0件にする

当時の苦い記憶
メカニズムを明らかにし
今後不良を発生させない！

計画

10月に新たな試作が始まる上
若手育成を図るため、
各ステップリーダー
若手と熟練者でペアを組む

目標設定です。
試作課は、短期間で電池開発に対応する必要があります。そのため、次の新規電池開発を始める10月までに箔破れ不良を0件にして、調整ロス時間を撲滅します。
活動は、若手の育成を目的に、各ステップリーダーは熟練者と若手がペアを組み指導しながらレベルアップを図りました。

工程説明 12

■端子接合工程の説明

此处に破れが発生

セルをひとつずつ、超音波接合機で接合

端子接合工程の説明です。
①セルを固定治具に挟み、②端子接合機の土台に固定。③超音波接合機で捲回体と端子を接合。
④完成品を取り出し、目視検査をします。
接合作業は、セルをひとつずつ行っています。

工程説明 13

■超音波接合とは

超音波ホーンとアンビルで加圧し振動で材料を接合させる手法

作業の流れ

① 捲回体と端子を超音波振動子のホーンで加圧
② ③で超音波振動を加え接合させ、ホーンを上昇
④ 溶接時間はコンマ数秒。接合の瞬間を目視で確認することは困難です。

超音波接合の説明です。
超音波振動子のホーンと、ホーンを受けるアンビルで構成されています。超音波接合のプロセスは、
①⇒②で捲回体と端子を超音波振動子のホーンで加圧。
②⇒③で超音波振動を加え接合させ、ホーンを上昇。
溶接時間はコンマ数秒。接合の瞬間を目視で確認することは困難です。

要因解析 14

特性要因図

⑤ 超音波の振動が強い
⑧ 加圧が大きい

① 特定の箇所には圧力が集中する

材料：納入仕様 (材質、厚み、強度)
人：スキルレベルなど (認定者、資格など)
方法：やり方、(手順、要領など)
設備：超音波接合 (構成：ホーン、アンビル)

⇒間違っていない
⇒スキルレベル問題無し
⇒要領書通りに作業
⇒要因になりそうなものを検証

要因解析です。
「アルミ箔の破れ」を特性に、4Mで層別。
材料は納入仕様通り。人はスキルレベルを満たした認定者。方法は正しく作業要領書通りに行っています。
材料・人・方法では疑わしい要因はなく、最後の設備に的を絞る。超音波接合のプロセスに沿って確認していきます。

検証1 15

■箔破れの位置について調査

10セル分確認

破れ箇所は10mm以内

特定の場所破れが発生している

検証1 箔破れの位置について調査。
・破れの位置：全て同じ箇所(過去不良10セル分)
・破れの形状：直線状
・破れの大きさ：10mm以内
結論：特定の場所と大きさで発生。

検証2 16

超音波接合機 調査

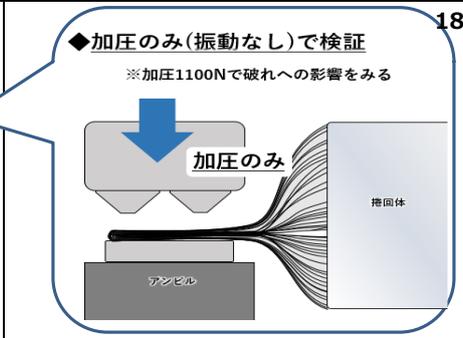
現物と図面を照合、破れの発生箇所が一致

検証2 破れの位置とホーンとの位置関係について調査。
・ホーンの角部はR加工
・マクロスコブで破れ位置とホーンとの位置関係を測定
・図面でホーン角R部の位置確認
結果：ホーンの角R部と、破れの箇所が一致。



箔破れとホーンの加圧は関係ないと判断

検証3 ホーン加圧時、箔に与える影響を検証。
 ・ホーン加圧のかけ方を確認。
 ・加圧力のピーク時は1100N
 ・アルミ箔の破断強度を確認。
アルミ箔の破断強度は1480N
結果：アルミ箔の破断強度に比べ、ホーン加圧力は低い。



・加圧のみで破れ確認。
 ホーンの跡は残るが、破れなし。

結論：加圧だけでは破れの影響はない。



振動により接合部の周辺まで圧力がかかっている

検証4 加圧に超音波振動が加わった時の影響を検証。
 検証方法は感圧紙で圧力分布を視ました。
 ※振動時は加圧力計測が出来ないため「加圧と超音波振動時」の圧力分布は、「加圧のみ」と比べ、接合部の周辺まで圧力がかかっていることが分かり、破れに影響していると推測。
 推測を立証させるためシミュレーション方法を検討。

検証5

まずはCAEについて勉強しましょう！

む、難しい...

次に専門部署に依頼！

Teams会議

専門部署にCAEでシミュレーションが出来るか依頼

検証5 シミュレーション方法について。
 シミュレーションは応力を計算して加工による変化を視える化するCAEを検討。
 サークル内でCAEについて勉強会をし、社内の専門部署にシミュレーション実施の依頼をしました。

検証5

シミュレーション可能ですか？

振動は無理

ガーン

時間の経過と2種類の動きは計算できないんです。

アルミ箔の変形をCAD化できない

CAEによるシミュレーションは断念

諦めるな！次は動画撮影に挑戦だ！

しかし、振動による応力変化は計算が困難なこと、加えてアルミ箔が束になった状態ではシミュレーションは困難なため断念。

あきらめずに、ハイスピードカメラによる動画撮影にチャレンジ。

検証6

■ハイスピードカメラで動画撮影

箱への振動(伝播) / 土台とセルが揺れている

検証6 ハイスピードカメラで動画撮影。
 狭い場所でのビデオカメラの設置に苦労しましたが、超音波接合時の状態の撮影に成功。
 振動が箔に伝わって波打っていることを確認。
想定外の発見！
 ホーン下降中にセルを固定している土台が揺れているを発見。

検証6

■ハイスピードカメラで動画撮影

セル / 土台

土台とセルが揺れている

土台を調査してみたら何かわかるかな？

セルは、治具に挟まれ土台に固定されているので、セルだけ揺れることはありません。つまりセルが揺れているのではなく土台が揺れているのでは？と考え、土台について調べました。

検証7

■土台が揺れる理屈を調査

イメージ図

高さ調節ネジ / ジャッキアップ機構

手で押しただけで動いちやう！

この機構がセルが揺れる原因になっている

検証7 土台の調査。
 超音波接合機の土台は、様々な試作に対応できるように、高さ調整が出来るジャッキアップ機構です。そのため、揺れに対する耐性が弱く、ホーンが下降する時のエアシリンダの振動が土台を揺らしているようです。

検証まとめ

①R部を起点に張力発生 / ②外側にも圧力発生

③振動が伝播 / ④土台の揺れ

箔破れ(仮説) 張力 / 振動 / 圧力

4つの現象が同時に起こることによって破れると仮説を立てる

検証のまとめ。
 ①ホーンR部を起点に張力が発生
 ②超音波振動によりホーン接触部の外側にも圧力が発生
 ③箔へ超音波振動が伝播
 ④土台の揺れによるセルの揺れ
 以上4つの現象が起きるとアルミ箔が破れるかもしれないと、仮説を立てました。

対策の方向付け

①R部を起点に張力 / ホーンの形状変更 / 設計変更になる

②外側にも圧力発生 / 接合条件の変更 / 工程条件の変更になる

③振動が伝播 / 振動伝播を遮断 / この2つなら対策が可能だ！私たちがやろう！！

④土台の揺れ / 土台の強度UP

対策の方向付けです。
 ①ホーンの形状変更は、設計変更になるため困難。
 ②超音波振動を弱くするなど工程条件変更も困難。
 以上の理由により、①②は優先度を下げました。

この2つの対策を進める

・振動伝播を遮断
 ・土台の強度UP

③振動が伝播 / 振動伝播を遮断 / この2つなら対策が可能だ！私たちがやろう！！

④土台の揺れ / 土台の強度UP

次に、
 ③「振動伝播の遮断」と
 ④「土台の強度アップ」は私たちに出来るので採用し、対策を進めました。

対策立案

評価採点基準：○全員賛成 △半分以上賛成 ×半分以下反対

目的	対策案	取組み易さ	コスト	効果	採否
・振動伝播を遮断	対策① 吸収する	○	○	○	○
	遮断する	△	×	○	×
	逃がす	×	×	△	×
・土台の強度UP	対策② 材料変更	○	△	△	×
	設計変更	○	○	○	○
	剛性強化	○	○	○	○

新QC7つ道具の「マトリクス図法」で対策を評価

対策立案です。
 全メンバーで「振動伝播の遮断」と「土台の強度アップ」について、アイデアを出し、評価しました。
 評価項目の取組みやすさでは私たちの手で出来ること。コストと効果では費用対効果。更に背景事項も考慮。
結果：①振動の吸収、②土台の設計変更及び剛性強化の2つを進めました。

対策実施 1 28

目的 振動を吸収する

1次案 緩衝材を挟む

2次案 **身近なモノで確認**

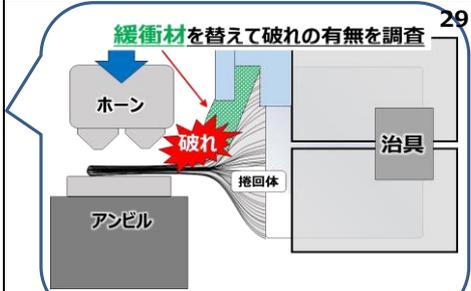
候補	コスト	加工	効果
マウスパッド 合成ゴム	○	○	×
シリコン グルシート	○	△	×
天然ゴム	○	△	×
ポリエチレン シート	○	○	○
シリコン スポンジ	○	○	○

柔らかい素材が いいのはわかったけど 何が違うの？

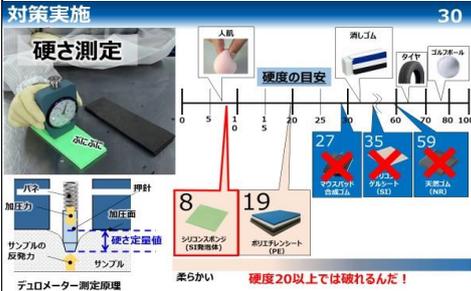
硬さを測定しよう

振動吸収できそうな素材を使用して接合テストを実施

対策実施1.
対策①振動の吸収です。
・まず、素材の選定として振動吸収できそうな**身近なモノ5種類**をコストと加工しやすさで評価。
・次に実際に取り付けて破れの有無を確認。



確認方法は、5種類の緩衝材を、それぞれ「箔押さえ部分」の下に取り付けテストを実施。
結果：「ポリエチレン」「シリコン」では、破れませんでした。でも「なぜ破れないのか？」理屈が分からないのでサークルリーダーから助言を貰い、それぞれの**素材の硬さを定量化**して違いを明確にします。



硬度20以下の材質では箔破れが発生しない

硬度測定器デューメーターにて硬さを測定。硬度測定をした結果、破れが発生しなかった「シリコン」と「ポリエチレン」の2つが**硬度20以下**。硬度20以下の低硬度な素材ほど**振動吸収**できると考え、リスクを考慮し硬度が一番低い**シリコンスポンジ**を採用。

対策実施 1 31

材料 厚み2mm

加工 ① ② ③ ④

取り付け シリコン スポンジ

自分たちで加工

手先の器用さ NO.1

#切磋琢磨

材料手配、加工、取り付けまで自分たちで実施

早速、自分たちで加工。標準化を図るため、治具に合わせてスポンジの形状を決定。何度も現物合わせを繰り返し、スポンジを切り出した「**振動吸収**」緩衝材治具が完成。

対策実施 2 32

土台の揺れ

なぜなら

剛性が低い

ジャッキアップ機構

鋼魂 (インゴット)

支柱

目的 1次案 2次案

剛性強化

ジャッキアップ機構を排除

支柱式の新しい土台製作に決定！

対策実施2.
次は、対策②土台の設計変更及び剛性強化です。土台の形状を、インゴットタイプと支柱タイプの2つで検討。強度、加工のしやすさ、コストから**支柱タイプに決定**。

対策実施 2 33

図面

加工手順

穴明け位置

正面図

材料選定から設計・加工までをすべて段階取

加工が難しいが剛性の高いSUS材に挑戦

工業高校卒業の3人がスキルを發揮。他職場にある、精密機器の土台を参考に図面を描き、土台の素材選定は、**耐腐食と強度に優れたSUS材**にしました。加工は自分たちの力量では難しいと思いましたが、挑戦しました。

対策実施 2 34

あれ、やばい

#技能伝承

完成!

高剛性のSUS製を選定

トルクレンチで締結 固定ボルトへ合いマーク

高い剛性で揺れが起こらない支柱式土台が完成

初のSUS材に挑戦。工作や加工では、ドリル穴の位置がズレたり、ネジ穴加工で**タップが折れたり**など苦戦しましたが、加工スキルの高い先輩から指導いただきながら、無事に**土台が完成**。他の振動の影響を受けず、強い剛性を持った土台です。

効果確認 35

対策① 振動を吸収

対策② 土台の設計変更 土台の剛性強化

確認

破れなし

さらにn増して効果を確かめよう

効果の確認。2つの対策実施後、超音波接合で効果確認を実施した結果、**箔破れ不良はなし**。
更に信頼性を高めるために試行回数(n数)を増して効果を確かめました。

効果確認 n増し確認 36

1. 多くのサンプルで確認

2. 最悪条件で確認

計：40セル

破れなし

n増し確認一問題なし。最悪条件確認一問題なし 対策完了から現在まで箔破れ不良の発生なし！

具体的な確認方法は、先ず要領書通りの手順で約40セルのサンプル品で接合。次にサンプル品の固定位置を、破れやすいと思われる「**悪条件**」に振った**意地悪テストの実施**。加えて、半年以上の経過観察でも箔破れ不良0を継続。

標準化・歯止め 37

何を	なぜ	どこで	いつ	誰が	どうする
1 土台のボルト締め	抑制するため	Liセル 試作室2	作業前に	試作担当者	締結トルクと合いマークを確認する
2 スポンジ硬度	20以上になることを防ぐため	Liセル 試作室2	作業前に	試作担当者	1500ショットで交換する
3 作業前の確認作業	標準化するため	Liセル 試作室2	9月末までに	要領書担当者	要領書を作成する
4 作業要領の内容	メンバー間で作業を統一するため	Liセル 試作室2	一年に一回	メンバー全員	現場で作業確認をする

土台とスポンジの管理方法と 作業要領の確認ルールを決定

標準化と歯止め。標準化では、土台の機能を維持させるために**定期的な締め付けトルク確認**。スポンジの経年劣化による再発を防ぐため、**定期交換をルール化**。誰がやっても同じ作業が出来るように**要領書を作成**。また作業のバラツキを発生させないように、**作業の現場確認を実施**しています。

サークルレベル 38

QC手法がレベルアップ

Aゾーンまで上昇

サークル運営がレベルアップ

CAE解析は断念したが諦めずに検証を進めた 部品の手配遅れで計画に遅れがたことが反省点 今後は計画力のレベルアップに取り組みたい

若手を中心として活動し対策完了までやりきった！

サークルレベル。先輩の指導のおかげで、私たち**若手が成長**しAゾーンに到達。大谷さんは、特性要因図や系統マトリクス図法を使用し活動できたことで、**QC手法がレベルアップ**。川合さんは、ステップリーダーを担当したことで、**サークル運営がレベルアップ**。若手を中心として活動し改善を進めることが出来ました。

39

EV ENERGY

プライムアースEVエナジー(株)

ご精読ありがとうございました

振り返り。反省は、対策①と②のどちらが効いたのか検証が不十分なので、今後の課題です。また、対策の部材手配遅れなどで計画通りに進められなかったことも、今後に活かしたいと思います。以上で、報告を終わります。ご精読ありがとうございました。