



FCEV用エアコンプレッサ開発ストーリー

決してあきらめない 技術者魂の結晶

——世界初*、増速ターボ式を採用し、MIRAIの性能向上に貢献



人類が気候変動問題に取り組むようになって、どれくらい経つだろうか。近年は新型コロナウイルス感染症の影響で世界的に経済活動が鈍化し、二酸化炭素をはじめとした温室効果ガスの排出量は一時的に減少した。しかし、大きな視点で見れば、いまだ右肩上がりの状況に変わりはない。

日本においては、2050年の脱炭素社会実現に向けた高い目標が掲げられたことから、自動車業界はこれまで以上にハイブリッド車(HEV)、電気自動車(BEV)など、さまざまな動力源の開発にチャレンジしてきた。その中でも革新的だったのは、2014年に発売されたトヨタ自動車(株)(以下、トヨタ)の「MIRAI」である。

水素と空気中の酸素を燃料とし、走行時には水しか排出しない燃料電池車(FCEV)は、“究極のエコカー”と呼ばれるほど大きな注目を浴びた。そして2020年、MIRAIはフルモデルチェンジを行い、さらに環境性能を向上させてデビューした。この開発ストーリーは、MIRAIに搭載されている「FCEV用エアコンプレッサ」の物語。そこにはエンジニアたちのどのような想いが込められているのだろうか。

燃料電池に酸素を送り込むのがエアコンプレッサ

FCEVがなぜ“究極のエコカー”と呼ばれるのか。それは火力発電をはじめ、外部の発電施設で生み出した電気で走行するBEVとは違い、水素と酸素を化学反応させて自ら電気を生み出し、その電気を動力源として走行するからだ。つまり走行時において、FCEVは一切温室効果ガスを出さないのである。

この画期的なFCEVはごく最近の技術のように思われるが、トヨタが開発をスタートさせたのは1992年から。その後、2002年に「トヨタFCHV」をリリースし、2007年にその改良版である「FCHV-adv」を発表。2014年末、一般ユーザー向けに「MIRAI」が発売され、2020年にはその2代目をデビューさせた。

燃料電池が電気を発生させるためには、FCスタックと呼ばれる発電装置の中で水素と酸素を化学反応させなければならない。水素はクルマに搭載されている高圧水素タンクから供給されるが、酸素は空気中に含まれるものを使用するため、FCスタックに酸素を送り込むためには、外気を吸引・昇圧しなければならない。そこで必要となるのが「エアコンプレッサ」であり、今回紹介する豊田自動織機が開発したそのものである。

6葉ヘリカルルーツ式から増速ターボ式へ進化

FCEVとエアコンプレッサの関係は深く、2002年にリリースされたトヨタFCHVから豊田自動織機のエアコンプレッサが搭載されている。当初はスクロール式(*1)を採用していたが、先代MIRAIでは世界初*の「6葉ヘリカルルーツ式(*2)」を搭載。そして現行MIRAIもまた、世界初*となる「増速ターボ式」のエアコンプレッサが採用されている。このように豊田自動織機のエアコンプレッサは、FCEVとともに進化し、歴史を重ねてきたと言えるだろう。

では、現行MIRAIに搭載されている増速ターボ式というメカニズムは、どのようにして生まれたのだろうか。

増速ターボ式のエアコンプレッサに行き着くまでには、紆余曲折があった。現行MIRAIの車両ニーズは、胸のすくような加速感を持ちながら静粛性と燃費性能に優れていること。これを実現するためには、大流量・高圧力・高応答性を持ちながら、効率を上げ、ノイズ&バイブレーション(以下、NV)も抑えなければならない。さらに車種展開のしやすさを見込んで、小型・軽量化・低コスト化も求められる。この高いハードルをクリアするためには、どうすればいいのか？ トヨタに出向した経験をいかして、技術的な窓口を担当した加藤はこう話す。

「先代MIRAIに搭載された6葉ヘリカルルーツ式の性能をさらに追求していく方法もありました。しかし、どうしてもコストと小型・軽量化の点で障壁がありました。コンプレッサをモータのみで回す案もありました。これだとコンプレッサ単体のコストは抑えられるのですが、別にインバータも新開発が必要となり、トータルで考えると難しい。結局、モータに加え、その回転数を増速できる機構を組み合わせる方法でいくことにしました」。

増速機を使う案で開発を進めていくことが決まったが、一般的な増速機で使われるギヤはNV抑制の観点から採用できない。そこでギヤに比べ、NV特性に秀でた「トラクションドライブ(*3)」というまったく新しい技術にチャレンジすることに決定。まさにFCEV車にふさわしい機構である。しかもこの増速機の開発は、2010年くらいから粛々と進められていたというから驚かされる。

「実は先代MIRAIのときに、この増速機はすでにあっただんです。でも、まだまだ完成度が低かったので、次のMIRAIには載せよう！と地道に開発を続けていました」と加藤は語る。



加藤 弘晃

コンプレッサ事業部
FCプロジェクト
開発第十一室
第111G



10年の年月を経て、ついに念願の増速ターボ式を採用する日が来たわけである。ただ、一方で苦勞して開発した6葉ヘリカルルーツ式をあっさりとおきらめられるのだろうか。

「もちろん6葉ヘリカルルーツ式にも思い入れはありますよ。でも、FCEVに搭載するエアコンプレッサとしての役目は果たしたのかな、と思います。それに他にもまだ使える用途はあるかもしれません。たとえば、工場で据え置き用のポンプとして使うとか」。

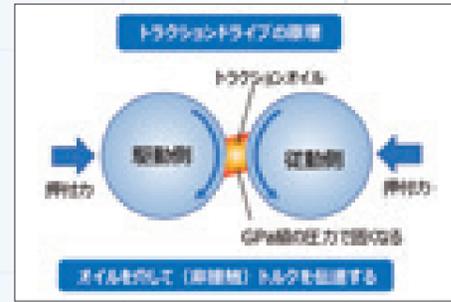
6葉ヘリカルルーツ式は車載用から一線を退いていくものの、ステージを変え、今後新たな分野で活躍する機会がありそうだ。

*1 スクロール式……固定スクロールと可動スクロールで構成されている方式。可動スクロールが回転することで、空間の容積が徐々に小さくなり、圧縮された空気が中心部から吐出される。高流量時に高効率性能を発揮する。

*2 6葉ヘリカルルーツ式……6つの葉を持つ独自のローター形状を用いることで、空気流量の変化に対応しながら高効率で空気を圧縮することが可能。

*3 トラクシヨンドライブ……金属同士を接触させず、油膜を介して動力を伝達する機構。金属同士が接触していないので、耐摩耗性、低抵抗性、静粛性に優れる。

イブは形こそギヤと似ていますが、ギヤの代わりにローラを用いています。しかし、ローラにはギヤのように噛みあう歯がないため、そのままだと滑ってしまい大きなトルクを伝達できません。そこで、一定の圧力を加えると固まる性質を持つ特別なオイルをギヤの歯車の代わりに利用してトルクを伝達するんです。こうするとローラ同士は非接触状態で回転できるため、とても静かになります」。



トラクシヨンドライブの原理

ただ、課題もあった。それは部品の疲労破壊。モータの最大トルク発生時でも滑らないようにオイルに圧力を加える必要があるが、反力としてローラや入力リングにも力が発生し、疲労破壊を起こしてしまうことが分かった。反対にモータのトルクが小さいときに余分な圧力を加えてしまうと、摩擦による動力の増加と部品の疲労破壊を早めてしまう。モータのトルクが変動しても、常に適正な各部への圧力と伝達力を両立するためにはどうすればいいのか。福山は頭を悩ませた。

「ヒントを得るためにいろんな資料や文献を読みましたが、知的財産講座に参加したとき『TRIZ40』というものに出会ったんです。これは発明の元となる40の原理を示したもので、いろんな方法論が掲載されていました。その中にたまたま『非対称』という項目を見つけて、対称を非対称にしてバランスを崩す、という言葉に引っかかった」。

——増速機の開発

「非対称にしてバランスを崩す」 その一言がヒントに

現行のMIRAIに搭載されるエアコンプレッサは、多くの要素が求められている。大量の空気を高圧で送り込む「大流量・高圧力」、さらにアクセルの踏み方に応じて敏感に反応する「高応答性」も必須。それでいて小型・軽量、静粛性も叶えなければならない。この高いハードルを乗り越えるためには、開発してきた増速機をさらに進化させなければ難しいはずだ。増速機的设计・実験を行った福山は言う。

「一般的な増速機は金属製のギヤを使うのですが、ギヤは歯車同士が接触することで確実にトルクを伝達できる一方、同時にどうしても音や振動も発生してしまいます。そこでギヤではなく、トラクシヨンドライブというまったく新しい技術にチャレンジすることにしました。トラクシヨンドラ

福山はその言葉を元に、あえて3つのローラのバランスを崩し、それぞれの大きさを変えてみた。しかも、ただ変えただけでなく、2つのローラは固定し、残り1つのローラを可動するようにしたのだ。これにより、モータのトルクに応じて自動的に圧力が調整される世界初*の機構が生まれた。結果だけ見れば、ローラの大きさを変え、1つを可動式にただけだ。しかしその発想を得るためには、課題解決への執念とヒントを得ようとする貪欲さがなければとどろき着けなかったはずだ。

「ただ、このアイデアですべてが解決したわけではないんです。実際にテストしてみると、課題がたくさん見つかりました。シャフトは折れるし、入力リングはおにぎり型に変形する……。これらを一つひとつ解決していかなければなりません」。

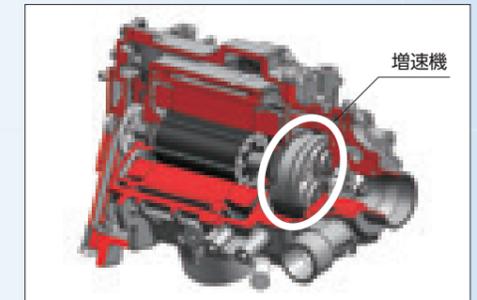
福山は次の課題として、シャフトと入力リングの強化を目標にした。シャフト、リングが破損しないように、耐力の向上と応力の低減の両方が必要と判断。素材である鉄の成分を調べ、その中に不純物が多く含まれると強度が低くなることを突き止めた。不純物の管理をしっかりとしながら、強い鉄を生み出し、素材とした。同時に部品に発生する圧力を少なくし、ストレスを与えないことも大切だと考えた。

「シャフトの表面にかかる圧力の影響を緩和する特殊な表面処理を加えました。分かりやすく言えば、シャフトの表面にやわらかいクッションのような組織を介在させるイメージでしょうか」。

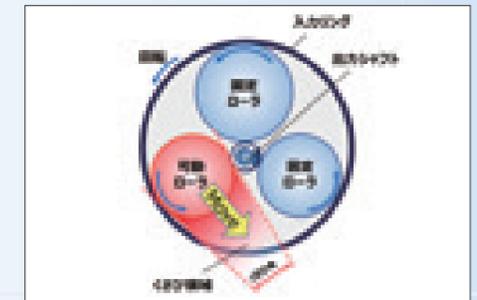
福山はこのような表面処理をしてくれるところはないかと探し回り、長野県の諏訪湖周辺にある会社に協力を依頼した。

「入力リングの変形についても、竹内（詳細は後述）と一緒にCAEを使って応力解析しました。モータの回転数に応じて、どこに、どれくらいの圧力がかかっているのか。それを実験する前に調べて対策を考え、シミュレーションを繰り返すことで最適な入力リングを生み出すことができました。トラクシヨンドライブに使うオイルは消費動力を小さくするために低粘度（さらさら）なオイルにしたいが、そうするとトルクを伝達する性能やローラ表面を保護する性能が落ちてしまうんですね。だからこれを両立するため、オイルやローラ表面の滑らかさは最後の最後まで開発を続けました」。

上気して話す福山の表情からも、増速機への情熱とこだわりが窺える。確かに今回のエアコンプレッサのキーとなるのが増速機であり、ローラの大きさを変え、可動式としたことが多くのニーズを満たすためのブレークスルーとなった。この世界初*の機構は、結果的に多くの特許を獲得することになった。



増速機 (エアコンプレッサ カットモデルより)



可動ローラの配置

——インペラの開発

ターボとは似て非なる エアコンプレッサのインペラ

モータで回されたシャフトは、増速機を経ることで最大11倍の回転数になり、その先はインペラにつながっている。インペラとは空気をFCスタックに送り込む風車のような役割をする部品だ。インペラと聞くと、ターボチャージャー（以

福山 了介

コンプレッサ事業部
FCプロジェクト
開発第十一室
第112G

榎山 亮

コンプレッサ事業部
FCプロジェクト
開発第十一室
第113G



下、ターボ)の構成部品を想像する人もいるかと思うが、今回のエアコンプレッサに使うインペラは、ターボで使われるものと何が違うのだろうか。担当した榎山が説明してくれた。

「パッと見たインペラの形状は、ターボもエアコンプレッサも同じような形をしています。ただ、ターボのインペラはたくさんの空気を送り込めればいいのですが、エアコンプレッサのインペラは少ない空気の流量を高い圧力で送り込まなければなりません。それぞれ似たような形でも、目的が違うのです」。

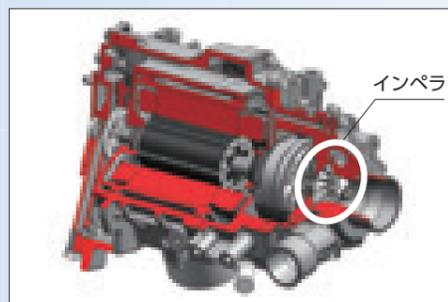
榎山は前職で航空用ガスタービンの開発をしていたことがあり、軸流式圧縮機の空力設計知識をベースに豊田自動織機初の号口ターボ開発への参画や今回の開発を通して遠心式圧縮機の知識を深めたのだとか。

「ターボ特有の現象で『サージング』と呼ばれるものがあります。専門的な話なので詳しい説明は省略しますが、これが起こると大きな爆発音がするんですね。静かなFCEVを目指しているのに爆発音がしたら台無しです。そのため、サージングが起きにくいインペラの形状を追求していきました」。

何度もシミュレーションを行い、試作品も10種類ほどつくったという。もちろん精度も必要で、±10μmレベルの公差で管理していった。

「増速機の開発は2010年くらいから始まったので、その頃から大学の教授に話を聞くなど、インペラの開発も地道にやってきました。その経験をベースに、エンジン用の号口開発やトヨタさんと一緒に意見交換をしていくことで、ここまで来ることができました。紆余曲折がありましたが、積み重ねてきたことがこのように製品化し、クルマとして多くのユーザーさまの手に渡ってよかったです」。

榎山は長く開発に関わってきた道のりを思い浮かべ、しみじみとした口調でそう語った。



インペラ(エアコンプレッサ カットモデルより)

——オイル漏れ対策 常識では考えられない位置が、 オイル漏れを防いだ

増速機を使うことで、モータのシャフトを18万回転という超高回転まで引き上げるエアコンプレッサは、当初からオイル漏れの懸念があった。

「増速機は内部潤滑のためにオイルを使います。シャフトとのしゅう動部をシールしなければ、当然オイルは漏れますよね。オイルがインペラ側に漏れると、FCスタックにまで行ってしまい、発電性能などに問題が出ます」。

シーリングなどを担当した光田は言う。

「しかも、1分間に18万回転。こんな超高速で回転するものをどうやってシールするのか。難しかったですね。手始めにゴムで試してみました。摩擦で熱を持つので、冷却もしましたが、あっという間に200℃まで上がってダメでした」。

次に試したのは金属のシールリング。ゴムに対して耐久性はあるが、残念ながらシール性能は低く、オイルが漏れてしまう。シール性を求めると耐久性が劣り、耐久性を上げようと思うとシール性が劣る。製品開発はいつもこのような相反するジレンマに悩まされる。

「最後に試したのは、メカニカルシールです。メカニカルシールは、一般的に可動するシールリングと固定されたシールリングの2つが組み合わさって構成されており、耐久性とシール性を両立させたパーツです」。

メカニカルシールは複雑な構造と精度を要するので、それらはコストに反映してくる。しかし、この方法しかないかと判断した光田は、メーカーと一

緒にエアコンプレッサ専用のメカニカルシールに改良していく。

ただ、これで一件落着とはいかない。エアコンプレッサが作動すると増速機が熱を持ち、それが原因で増速機を納めている空間の圧力が上昇。インペラ側に空気とともにオイルを押し出してしまう現象が起こったのだ。

「圧力の上昇が真因ですから、どこかでその圧力を減圧しなければなりません。問題はどこから抜くのか? 増速機で圧力が上がるのだから、増速機の近くに減圧装置(ブリーザ)を付けたのですが、そうすると今度はブリーザからオイルが泡状になって噴き出してしまいます」。

光田たちはブリーザを取り付ける位置を変更するなど、試行錯誤を重ねていった。ついには筐体の形状自体を変更しなければならなくなり、トヨタと折衝しながらその形状を決めていった。

「オイルの吹き出しを防がなければならないので、ブリーザは当然、筐体の上のほうがいいと思っていました。しかし、若手の高瀬が『ここが最適な位置だと思います』と持ってきた案は自分の想像もしていない場所でした。若手から学ばせてもらいましたよ」と光田は笑った。

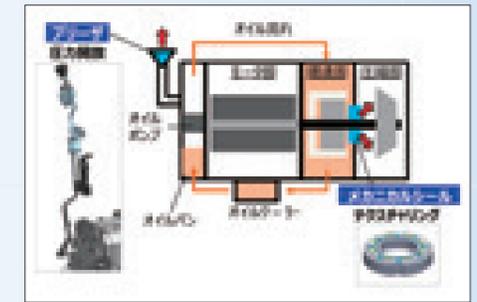
メカニカルシールによって増速機部分のオイル漏れを防ぎ、ブリーザの最適な設置位置を見出したことで、減圧する際のオイル漏れも最小限にとどめることができた。試行錯誤は製品の立ち上げ直前まで続いたというが、最後の最後まであきらめない粘り強さが、この結果を導き出したに違いない。



実験風景(左から伊藤、高瀬、渡辺)

鈴木 希幸

コンプレッサ事業部
FCプロジェクト
開発第十一室
第113G



オイル循環の構成

——NV対策

数μmレベルの隙間が 明暗を分けた

NVはFCEVにとって重要な要素である。いや、内燃機関車にとっても重要だが、FCEVはエンジンがないため、そもそもが静かな乗り物。静かだからこそ、内燃機関車では気にならなかった音や振動までが気になってしまうのだ。しかも、NVは強敵である。エアコンプレッサ単体では気になるNVがなかったとしても、車載することでNVが大きくなってしまふ現象が起こることもある。この“見えない敵”とどのように戦ったのだろうか。

「ベンチに載せた状態で、エアコンプレッサにマイクや振動ピックアップ(*4)という装置を付けて測定します。数値が規格以下であれば合格ですが、NVにはいろんな種類があって、異音や変動音など不快に感じる音は官能評価などでも確認します」。

NV担当の鈴木はそう教えてくれた。バッテリーのみで走るBEVと同等の静粛性を目指したというが、当初のNV性能はどうだったのだろうか?

「とても製品化できるレベルじゃなかったです。防音室に入れて作動させると、耳をふさぎたくなるくらいの音がしました」。

もはや騒音とも呼べるほどのNVに対し、鈴木たちはどこが発生源なのかを突き止め、一つひとつ原因を潰していった。

光田 聡

コンプレッサ事業部
FCプロジェクト
開発第十一室
第111G





「NVは各部品の精度が低いことでガタつきが生じ、それが原因で発生している場合もありますが、すべてがそうではありません。精度が良くても、共振であったり、アンバランスであったり、他部品を通して音や振動が増幅されたりとさまざまです。たとえ精度が問題であっても、精度を上げるためにはコストがかかります。目標値をクリアできても、大幅にコストがかかっている意味がありません」。

確にお金をかければ、すぐ解決できる問題もあるだろう。しかし、鈴木たちは安易にその方法を採らず、知恵と工夫でコストとも戦っていかねばならない。

「NVの発生源がすぐに分かっても、その対策が難しいものもあれば、発生源そのものの特定が困難なものもあります。当然、後者はもっとも苦労する類。実際の開発の中で、どうしても発生源が分からないものがあり、かなり悩まされました」。

その音は筐体のあらゆる部分に振動ピックアップを付けても、すべて数値が高く、場所が特定できない。社内の専門部署やトヨタとも協力し、疑いのあるモータ部の調査と、低減アイテムによる効果確認を進めた。しかし、共振を防ぐために筐体の肉厚を薄くしたり、振動を抑制するダイナミックダンパを付けるなど、さまざまな試みをしたものの、それでも依然、数値は高いまま。

「いろんな方法を試しましたが全部ダメ。もう心が折れそうでした。本当に解決できるのだろうか」と不安になりました。ただ、あるとき全部バラして再度組み付けると、NVが少しだけ変化することに気づいたんです」。

鈴木は組み付けの仕方にヒントがあると確信し、ある部品に着目。結果、組み付けるときに生まれる数 μ mレベルの間隙による部品の微妙な位置関係が、静かになるかうるさくなるかを決定づけていたのである。

「当初は、本当にこれが原因なのかなと疑っていましたが、実際に組み付けてみると明らかに変化するので、だんだんとこれが真の原因だと確信が持てるようになりました。では、これをどのように対策していくのか。次なる課題に挑戦してきました」。

この振動問題に解決の糸口を見つけ、ようやくひと安心していた鈴木のもとに、新たな課題が立ち上がった。それはエアコンプレッサを搭載した状態で走行テストをしているとき、アイドルン

時に断続的なガラガラ音が聞こえるという。不定期に出る音に対し、鈴木はいつも通り原因を突き止めていく。

「部品を一つひとつ交換していった結果、音は増速機のローラから出ていることがわかりました。そこでローラ単体でNVのテストができる装置をつくって、測定してみるとローラのベアリングから音が出ていると判明。さらに追求していくと、いくつかあるベアリングのひとつに髪の毛の細さにも満たない十数 μ mほどの傷が入っていることを発見したんです。どうやらベアリングを保持している部品が傷を付けてしまったようです」。

たったひとつの小さなベアリングの表面に付いた髪の毛ほどの傷が原因だとは……。先述した振動問題しかり、NVは本当に奥深い謎解きの世界である。

鈴木もまた、自らが解決すべき課題に立ち向かう技術者の一人である。正解がないのかもしれないと不安に思いながらも、必ず見つかるはずだと前に進んでいく。決してあきらめない執念の技術者である。



振動ピックアップ

*4 振動ピックアップ……振動を検知し、電気信号に変換する機器。増幅器や振動計本体と接続して使用する。

失敗しても許される風土が 挑戦していく気持ちを育んだ

2011年から本格的に開発がスタートして約10年。増速ターボ式のエアコンプレッサは先代である6葉ヘリカルルーツ式に比べて45%の小型化と35%の軽量化に成功。高負荷時の圧縮性能は、24%も向上させることができた。そしてこのエアコンプレッサは、2020年にデビューした現行のMIRAIに搭載されている。

先代に搭載された世界初*の6葉ヘリカルルー

ツ式を捨て、新たにチャレンジした増速ターボ式もまた、世界初*という称号を手に入れた。さらに開発したエアコンプレッサは「社長特別賞」を受賞。前回に続き、連続の受賞となった。

この長い開発を振り返ってメンバーはどのようなことを感じ、学んだのだろうか。加藤はこう話してくれた。

「世界初*の製品を生み出すこと。そしてそれが認められ、社長特別賞をいただいたのは、本当にうれしかったですね。その他にも印象に残っていることがあります。それは「適合」に同行できたことです。適合は新型車を開発するときに、さまざまな場所で実際にクルマを走らせ、性能を確認する実地試験のようなもの。通常はカーメーカーの開発陣のみで行うのですが、特別に許可していただけたのです。適合の様子を間近で見ることができ、いい経験になりました」。

適合に参加できたのは、エアコンプレッサが車両性能に対する貢献度が高いからだろう。実際、エアコンプレッサはさまざまな補機類の中でも“King of 補機”と呼ばれていたくらいだ。

「そんな重要な部品なのに、開発中は課題に次ぐ課題で『本当に量産化できるのだろうか?』と何度も不安になりました」。

加藤がそう言うと他のメンバーも一様に大きくうなずく。

「本当に苦労しましたが、原理的に間違っていないから『絶対にできる!』と自分を信じて突き進みました。私にとって初の量産品なので感慨深いです。社会に貢献できるような開発ができたことを誇りに思いますよ」と福山。

「今回のエアコンプレッサはしっかりとした結果を残しましたが、実はいまでも『もっといい別の方法があったのでは?』と思うことがあります。でも、その気持ちが次の開発のモチベーションになるんですよ」。

光田がそう言うと鈴木も

「開発の仕事ってその連続ですよ。常に学んで次に活かしていく仕事。僕も今回の開発で起こったさまざまな事象にしっかりと向き合い、追究をしたことでさらに経験値が上がったと実感しています。高いハードルであるほど、それを乗り越えたときは大きな成長が待っていると信じてやっています!」

先代の6葉ヘリカルルーツ式と同様に開発の取りまとめを行った中根は

「メンバーには日々『こけたら立ちなはれ!』っていい響きだよねと口癖のように言っていました。みんなが言うようにいろんな課題が出てくるから、その度に落ち込んで、どうしようかと悩んで、それでも何かしらの解決方法を導いて前進していく、そんな開発でした」と話す。

このようにたとえ失敗しても開発が進められるのは、コンプレッサ事業部にそれを許容する風土が息づいているからだ。各個人の意見を尊重し、自由に開発できる風土、いろいろなことに挑戦できる風土があるからこそ、開発を完遂できたのではないだろうか。

「チャレンジして失敗してしまったことは、新たな一歩だと思っています。たとえ不具合が起きたとしても、客先のメンバーと一緒に解決していくことで、自分たちにはない知見も吸収できる。誇張しすぎかもしれないけど、加藤とは不具合が起きるたびに『また勉強させてもらえる機会だぞ』と言ってたよな?」。

中根がそう言うと、加藤も静かに頷く。

「モノは人がつくるんだけど、そのモノに人が成長させてもらっているという見方もできる。人がモノをつくり、モノが人を成長させる。そのいい循環が開発を成功に導いたのかもしれないですね」。

中根はさらに続ける。

「安城工場に開発、生産技術、製造の各部署が集約されたことも、成功を支えた大きな要素だと思っています。これまでは各部署が異なった拠点に配置されていましたが、すべての部署が安城工場に集まって活動できたことで、コミュニケーションの深化、スピードアップ、そして何よりワンチームでのものづくりに取り組む一体感が醸成できたと思っています」。

*当社調べ

中根 芳之

コンプレッサ事業部
FCプロジェクト
開発第十一室



Computer
Aided
EngineeringCAE解析で
増速機の開発や
NV対策に貢献

今回の開発ではCAEが大きな役割を果たした。CAEとは「Computer Aided Engineering」の略称。コンピュータで開発製品の仮想試作や試験を行い、少ない試作回数で高品質な製品を生み出すための設計技術を指す。

「大学ではCAEを触ったことがなかったので、当初は戸惑いました。でも、先輩にいろいろと教えていただき、そのおもしろさが分かるようになってきました。コンピュータの中で実際の製品が動き、どこにどのような力がどれくらいかかっているのかなどが目に見えるわけです。しかも、今回は量産品として初の仕事。大変でしたが、学びも多かったですね」と担当した竹内は言う。

特にCAEが力を発揮したのは、増速機の入力リングやエアコンプレッサの筐体設計だ。

「増速機はこれまで当社で開発したことがなかったので、CAE解析方法を一から検討しました。なかでも3つのローラを納める入力リングの開発においては、CAE解析に合わせて『応答局面法（統計的手法）』を使用しました。CAE解析だけだと何度も形状を変更して解析をし、最適な形状を見つける必要があるのですが、応答曲面法を用いることによって少ない回数のCAE解析で入力リングのパラメータの関係性を割り出すことができます」。

入力リングは大きなトルクを受け止められるほど良いが、トルクが大きくなればなるほど負担がかかり、疲労破壊を起こしてしまう。そのため、トルクと疲労破壊を天秤にかけ、どちらも両立するちょうどいい数値や形状を求めなければならない。応答曲面法は、入力リングの最適な形状や表面にかかる圧力などを短い時間で導き出すために有効な手段だと言える。

「『これは初心者には難しいよ』と言われていましたが、いろいろな方に助けをもらって入力リングの形状を設計することができました。CAE解析の結果が出るまでも大変

でしたがその後、実際の部品で実験した結果と比較しながら検討していくのも難しかったです」。

CAEの結果を元に実験してみると、導き出した答えどおりの結果にならないこともあるという。そのため、何が違うのかを実機に張り付けて、その動きをつぶさに観察したこともあったそうだ。

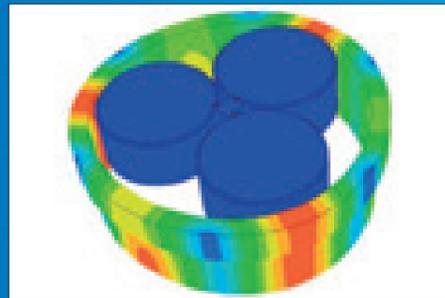
エアコンプレッサの筐体設計については、主にNVの低減に貢献した。

「CAEで解析すると、ハウジングのどの部分が振動しているのかが分かります。その部分に補強のためのリブを入れるなど、最適な設計をするための支援ができました」。

竹内はこれまで触れたことのないCAEに出合ったことでおもしろさに気づき、まるでスポンジが水を吸収するかのようにそのスキルや知識を取り込んでいった。さらに量産品の開発となるとさまざまな部署と関係性を構築していくことも必要になる。

「当たり前のことですが、自分たちのやりたいことだけを主張してもダメで。関係部署の意見もしっかりと聞きながら、開発を進めていく大切さを学びました」。

興味があることに對し、一直線に突き進める素性、そしてそれができる環境に恵まれていることは、その人を大きく成長させる。竹内はまさにその好例ではないだろうか。



リングのCAE応力解析

竹内 花帆

コンプレッサ事業部
FCプロジェクト
開発第十一室
第111G開発の終わりは
次の開発のスタート

FC（燃料電池）は、水素と酸素を化学反応させて電気を生み出す装置であることは先に説明した。MIRAIが登場したことによって、FCは車両に搭載されるシステムというイメージが定着しているが、車両以外にも定置用や船舶、鉄道などにも活用範囲が広がっている。

「FCを動かすためにエアコンプレッサは必須です。今後、さまざまな分野でFCが活躍していくでしょう。私たちも次はバスやトラックなどの商用車用に向けた開発を進めています。そのためには乗用車よりもさらに優れた耐久性を実現しなければなりません。私たちの挑戦は『MIRAIに搭載するエアコンプレッサ』という観点ではひとまず達成されました。しかし、その先にある『水素社会の実現』に向けてはまだスタートを切ったばかりです。当社にはこれまでFCEV用エアコンプレッサの開発で培った23年間の歴史と実績があります。これからも既存の技術、方式にとらわれず、その時代のトレンドに合わせたより良い製品を世の中に提案していきたいと思っています」。

中根は未来に向けて、力強く話してくれた。開発の終わりは次の開発のスタート。終わりなき挑戦はこれからも続いていく。

