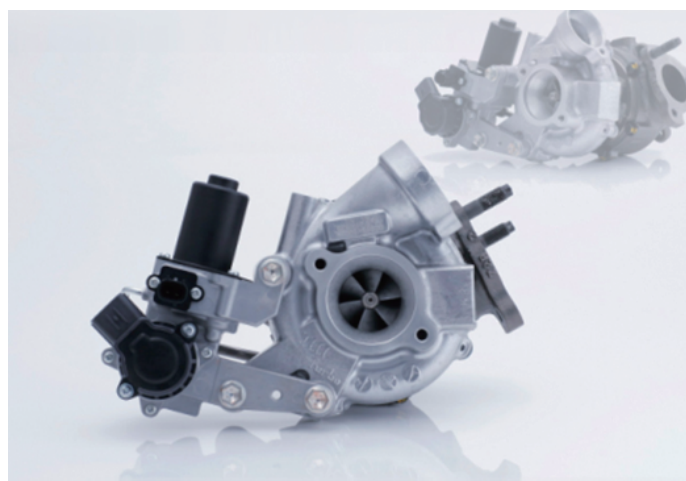


耐衝撃性予測に基づく 過給機のハウジング設計

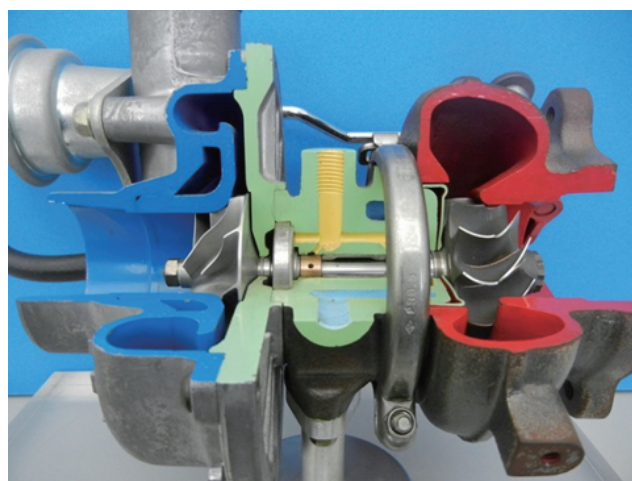
安全性の事前評価を可能にする 高速破壊現象の予測技術

車両用過給機を対象に、ハウジングの高速破壊現象を予測する解析技術を開発した。
通常では起こりえない過酷な状況を想定することによって、より安全性の高い製品の設計が可能になった。

株式会社 IHI
車両過給機セクター
技術統括センター 開発部 有坂 創



車両用過給機



車両用過給機のカットモデル

世界で伸びる車両用過給機需要

世界的な地球温暖化対策の推進を背景に、自動車においても燃費に対する規制が厳しさを増しており、自動車メーカー各社は燃費改善技術を競い合っている。日本では内燃エンジンと電気モーターで動くハイブリッド車が普及してきたが、ヨーロッパでは過給機を用いてエンジンを小さくする、いわゆるダウンサイジングが低燃費技術として一定の地位を確保してきた。

過給機は、エンジンの排ガスを用いてタービンを回し、同軸上のコンプレッサーで空気を圧縮してエンジンに送る機械である。そのため、無過給エンジンに比べて小型化したエンジンでも実質排気量を上げることができ、同等の出力を得ることができる。

この過給機による燃費改善は比較的低コストで簡便であるため、軽自動車から大型トラックまで幅広く利用されており、今後も世界的な需要の伸びが期待されている。

不測の状況を想定した過給機設計

過給機で最も重要なパーツは、タービンとコンプレッサーのインペラー（羽根車）である。過給機の基本性能を決定づけるパーツであり、流体解析技術をフル活用して設計されている。一方、インペラーを取り囲むハウジングには、排ガスや空気を適切に導くための渦巻き流路が形成されており、インペラーとともに性能を左右する重要なパーツとなっている。しかし、このハウジングにはさらに隠れた使命がある。

通常、過給機のインペラーは高速で回転しており、小型乗用車向けでは最大毎分 20 万回転以上に達する。これが何らかの原因で破損（バースト）した場合、インペラー外周部の破片であれば 500 m/s 以上の速度で飛散することになり、エンジンや自動車の外にまで貫通してしまうとさらなる重大事故につながる恐れがある。このような不測の状況においても、内部部品からの衝撃に耐え外部貫通を防ぐことが、ハウジングのもう一つの重要な役割なのである。

耐衝撃性のみを重視するのであれば、ハウジングの設計は比較的容易である。強度の高い材料で重厚な構造にすればよい。しかし、これでは質量が増すとともに過給機全体が大きくなり、エンジンへの搭載性も悪化してしまう。当然、安全性と質量、サイズ、性能のバランスを考慮した設計が必要であり、これまでは長年培ってきた知見や経験を踏まえ、材料選定および形状設計で対応してきた。

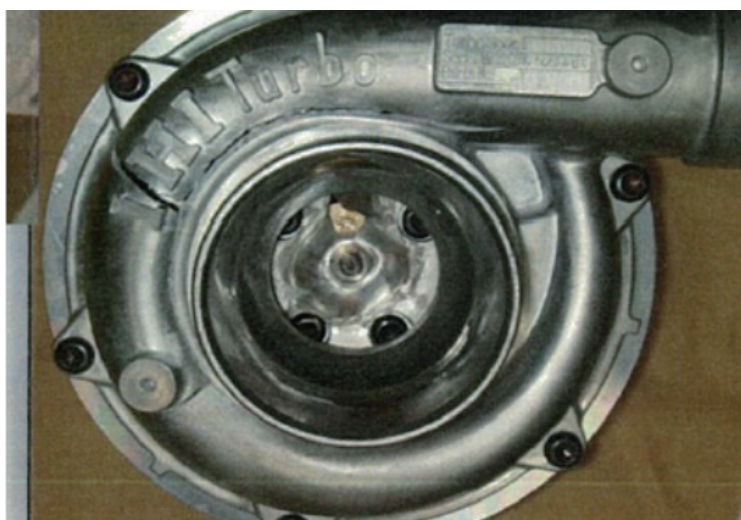
しかし、最近では使用条件や搭載性に対する要求も厳しくなっており、より定量的な現象予測に基づくハウジング設計が求められてきている。

高速破壊現象を予測する解析技術の開発

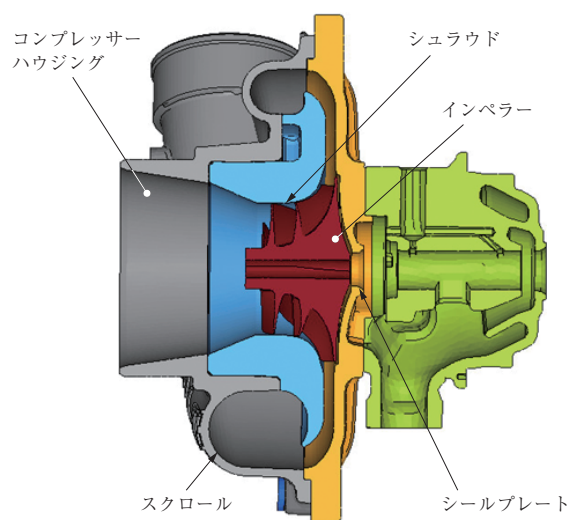
IHI では数値解析技術を用いてハウジングの高速破壊現象を予測する技術を開発してきた。本現象を予測するためには、① 破損したインペラーがハウジング内に飛散する挙動 ② インペラーがハウジングに衝突し、双方が衝撃力を受けて変形する挙動 ③ ハウジングにき裂が発生し進展する挙動、を予測する必要がある。複数の現象が短時間で同時進行する複雑な現象であるが、最新の解析技術を適用することにより、設計に適用できるレベルで予測することが可能になった。

本技術開発で最も困難だったのが、き裂の発生と進展の予測である。通常、構造解析では対象の 3D 形状モデルに格子を生成し、境界条件を基に格子群の応力バランスを計算し、変位やひずみを算出する。本技術ではさらに、一定の条件（例えば破断応力）に達した格子を削除する手法を適用し、き裂の発生と進展を模擬することとした。しかし、本手法は単純形状の単純応力場であれば精度良く予測することが可能だが、実際は 3D 形状の複雑な応力場であり、適切な条件（物理量と値）を特定する必要があった。

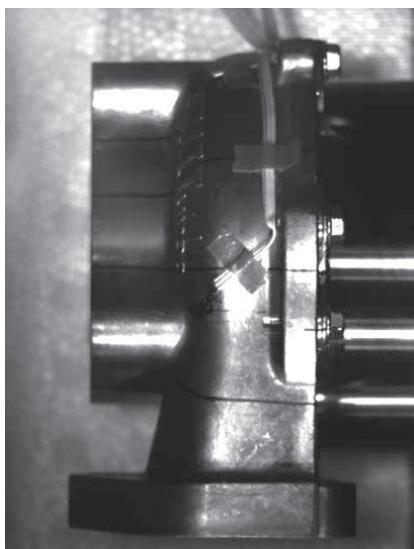
そこで、き裂の発生条件を特定することを目的に、実際のハウジングを用いた高速破壊試験を行った。今



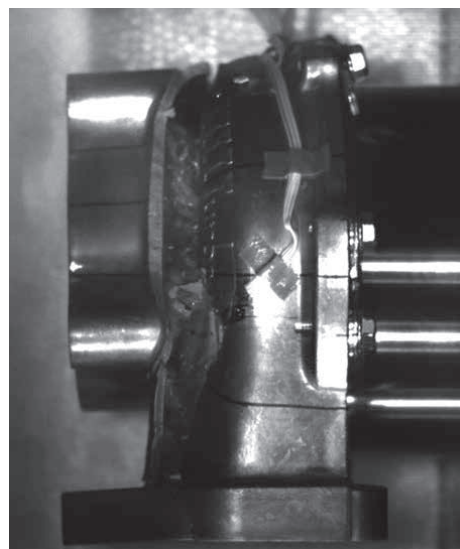
インペラーバースト試験で壊れたコンプレッサーハウジング



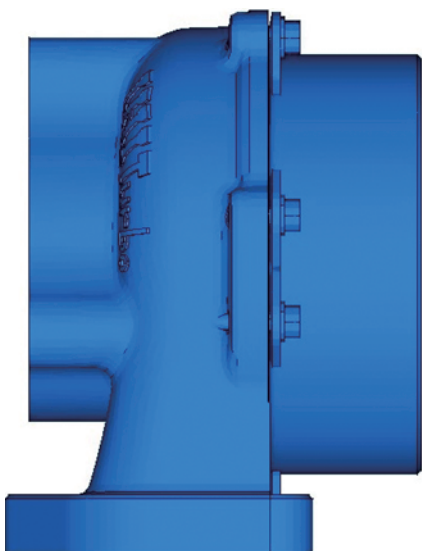
インペラーバースト解析モデル 断面



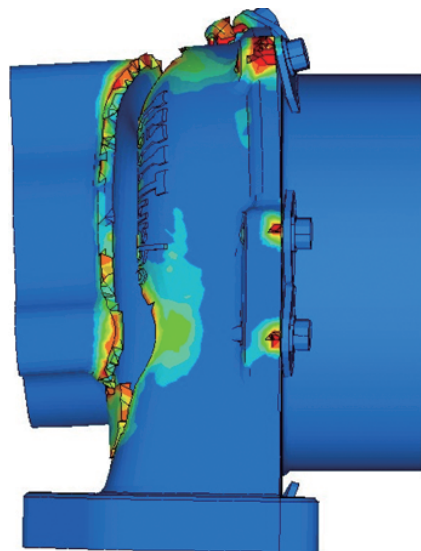
コンプレッサーハウジングの高速破壊試験 前



コンプレッサーハウジングの高速破壊試験 後



コンプレッサーハウジングの高速破壊試験の再現解析 前



コンプレッサーハウジングの高速破壊試験の再現解析 後

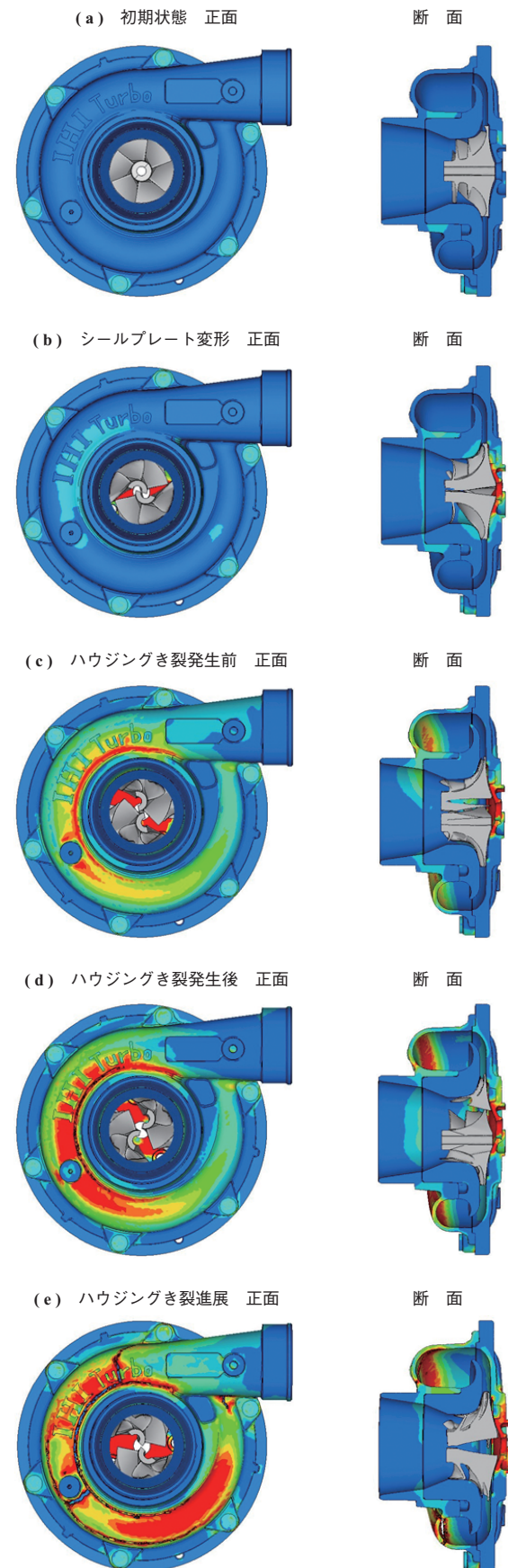
回は、コンプレッサーハウジングを対象とした試験について紹介する。試験では、インペラーからの衝撃を模擬するためのゼラチン球を、台上に固定したハウジングに対して軸方向に衝突させた。ゼラチン球は、衝突速度の制御、荷重の時間履歴やエネルギー伝達量の算出を容易にするため用いた。

一方、高速破壊試験と同様の解析モデルを作成し、コンプレッサーハウジングの破壊挙動を解析した。試験におけるき裂の発生状況（位置、長さなど）と同等の結果が得られるようにき裂発生条件（物理量と値）を調整し、試験結果を精度良く再現できる条件を特定した。

耐衝撃性予測に基づくハウジング設計

高速破壊試験で得られたき裂発生条件を用いて、コンプレッサーハウジング内のインペラーがバーストした際の挙動を解析した例を示す。解析モデルにはインペラーも含まれており、回転中に半分に割れるものとした。図中の色は変形の大きさを示している。

インペラーがバーストする前の状態でも、スクロールの内周側には若干の変形が見られるが、これはハウジングの組立時に生じるわずかな変形も考慮しているためである。インペラーがバーストすると、インペラーはまず背面側にあるシールプレートと呼ばれる



インペラーバースト解析によるコンプレッサーハウジングのき裂予測

パーツに衝突し、シールプレートを大きく変形させることが分かる。次にインペラーは半径方向へ飛散し、シュラウド（インペラーを外側から囲む部分）とシールプレートが対向して作る平行流路に割り込む形となり、シールプレートをさらに変形させる。この衝撃は、シールプレートとハウジングの締結部を伝わり、スクロールの最も薄い壁面（断面図のスクロール左側）に大きな変形をもたらし、き裂を生じさせる。一度き裂が生じると、同じく大きな変形を受けている周方向の部分に伝播し、大きなき裂となる。また、スクロール壁面の厚さが大きく変化し、ひずみの発生しやすいボス周りでもき裂が発生することが予測された。

本解析は実際のインペラーバースト破壊試験と定性的に同等の傾向が得られることが確認されており、耐衝撃性を考慮した安全性の高い形状を設計することが可能になった。

今後の展開

今後は本解析手法を用いて搭載性と安全性を両立したハウジング設計を行っていくとともに、ベアリングハウジングやタービンハウジングなどの異種材への適用も進める。さらに、形状最適化技術と組み合わせ、より軽量・小型でありながら十分な強度を確保できる新しい構造を目指していく。また、ハウジングの製造過程で発生する材料強度の非均一性を考慮できるように、予測手法を改善していく。

あつてはならない状況でのみ問われる耐衝撃性であるが、目には見えない部分の品質にまで気を配ることで、お客様の安全・安心に対する期待に応えていきたい。

問い合わせ先

株式会社 IHI

車両過給機セクター 技術統括センター 開発部

電話（045）759-2897

URL：www.ihico.jp/