

## 流体構造連成解析を用いた コンプレッサのPV線図予測

研究・開発機関 : [ナブテスコ株式会社](#)  
 利用施設 : 自社設備  
 計算規模 : 16コアで6日  
 利用ソフトウェア : エムエスシーソフトウェア株式会社 Marc、scFLOW

### Before

- コンプレッサ効率や性能を示す、シリンダー圧力と容積の関係(PV線図)は、試験により求めるため、多くの工数や費用が必要でした。
- PV線図の予測には、対象製品をシンプルな数学モデルなどで表現し解析を行う1DCAEが用いられることがありますが、個々にパラメータの合わせ込みが発生するため、様々な形状へ適用することが難しいという課題がありました。

### After

- 構造と流体の連成解析を実施し、リード弁の弾性変形と周辺の3次元的な流れ場を同時に解くことで、精度の高いPV線図の予測が可能になりました。
- シリンダーからの放熱など、物理的に根拠のある境界条件の設定により、異なる形状へのPV線図予測の対応が可能となり、効率改善の設計指標が得られるようになりました。

### 背景と目的

弊社ではバスやトラックなど大型車両のEV化に対応するため、省エネルギーな2段圧縮コンプレッサの開発を進めています。

本コンプレッサは、1次側のシリンダーで空気を圧縮し中間流路で冷却した後、2次側でさらに高圧に圧縮します(図1)。また、レシプロ式を採用しているため、シリンダー内のピストンの往復運動に合わせて、吸込弁と吐出弁の2つのリード弁が弾性変形することで、順次圧縮空気が作られる仕組みとなっています(図2)。

こうしたコンプレッサの効率や性能を評価するために、ピストンが1サイクル動いた時のシリンダー圧力と容積の関係を表すPV線図(図3)が用いられますが、従来は試験で測定していたため、多くの開発工数や費用が必要でした。また、1DCAEを用いたPV線図予測では、モデルの構築方法によっては、対流による熱交換の効果など未知パラメータの合わせ込みが発生するため、弁形状や冷却方式などが変更された場合には、その都度、パラメータの合わせ込みが必要となるという課題がありました。

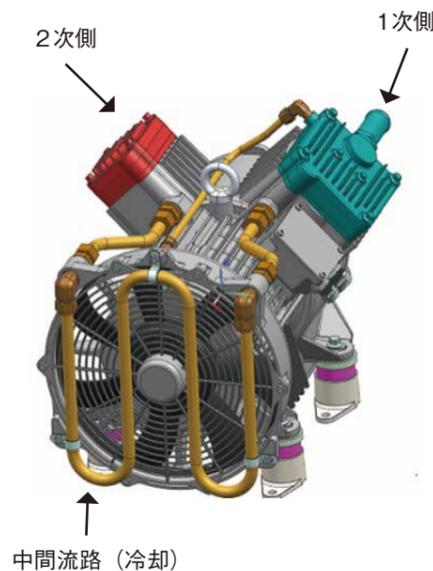


図1 コンプレッサ外観

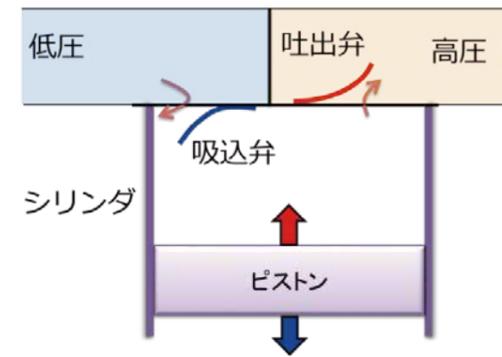


図2 レシプロ式コンプレッサの仕組み

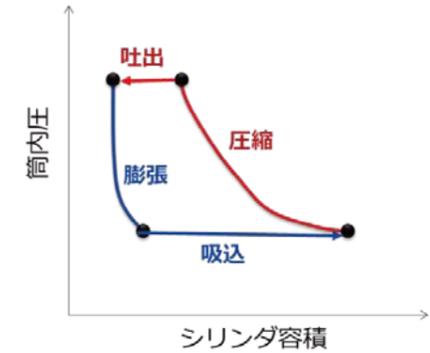


図3 PV線図

### 利用成果

流れによるリード弁の弾性変形とシリンダー内の流体の圧力変化を、構造解析と流体解析との連成により求めることで、PV線図を予測する手法を確立しました。連成解析では、図4右に示すように、リード弁周りの圧力を流体解析で求め、その結果を図4左の構造解析に受け渡し、構造解析では、その圧力から弾性変形を解き、弁の変位を流体側に受け渡します。このデータのやり取りを時々刻々と行います。その解析結果の一例を図5に示します。リード弁が弾性変形して開き、その周りの3次元的な流れ場も計算できていることが分かります。

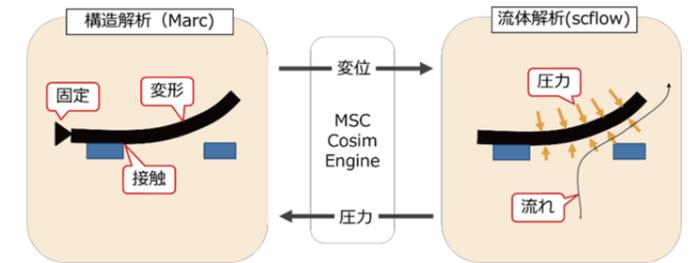


図4 リード弁の流体構造連成解析

この解析結果を得る過程で、流体解析のモデル構築における工夫点は以下になります。

- ① 1次側と2次側を同時に解くため要素数が増え計算時間が膨大になる課題に対し、1/2対称モデルを採用しました。また、図2の吐出弁と吸込弁は同時に開くことは無いいため、膨張・吸込過程では吸込弁だけを、圧縮・吐出過程では吐出弁だけモデル化し、計算時間を削減しました。
- ② 試験では測定が難しい放熱や空気の漏れなども考慮が必要でしたが、壁面の熱伝達の境界条件を実測値から予想してモデル化しました。

これらの工夫により、図6のように試験と比較して精度の高いPV線図を、現実的な計算時間で、解析で予測することができるようになりました。この予測により、コンプレッサ設計の試作レス化の可能性が見え、また、解析でパラメータスタディを行うことで、効率改善に効果のある寸法変更といった設計指標を得ることができるようになりました。

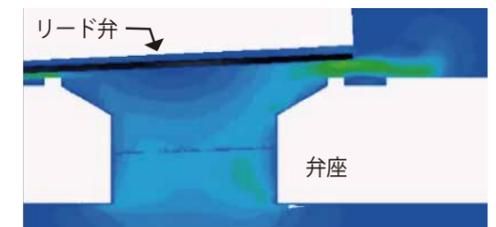


図5 弾性変形するリード弁周りの流速分布

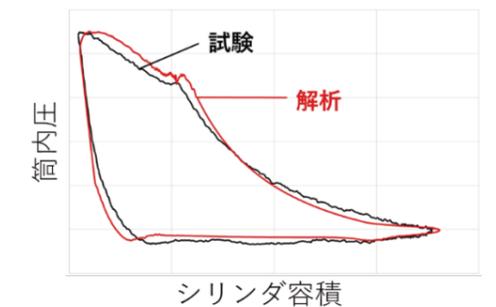


図6 流体構造連成解析と試験のPV線図