

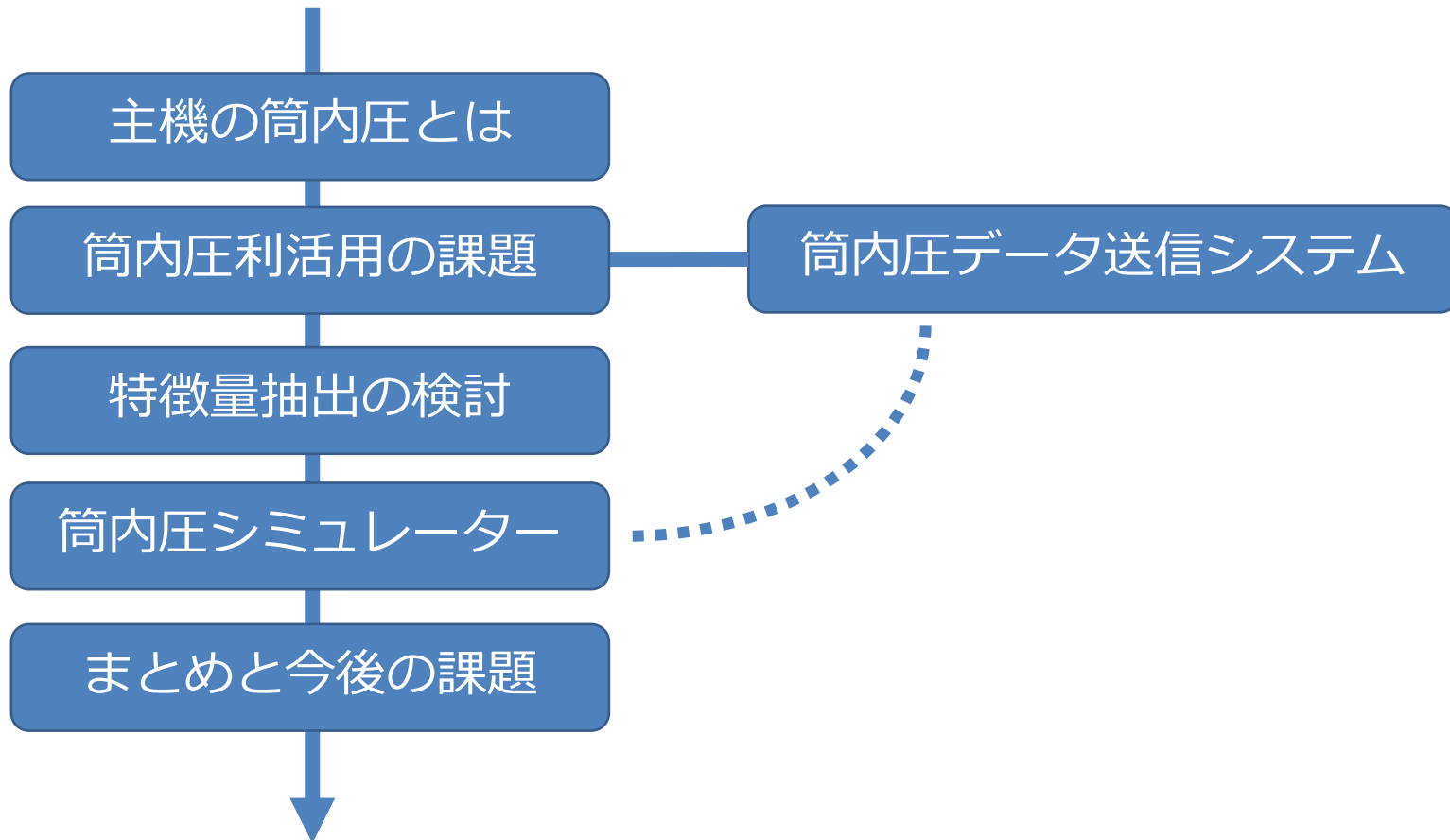
筒内圧データ活用による 主機状態診断の取り組み ～ データ解釈手段としてのシミュレーター ～

2021年12月3日

株式会社MTI 船舶物流技術グループ
機関ソリューションチーム
渡部 潤

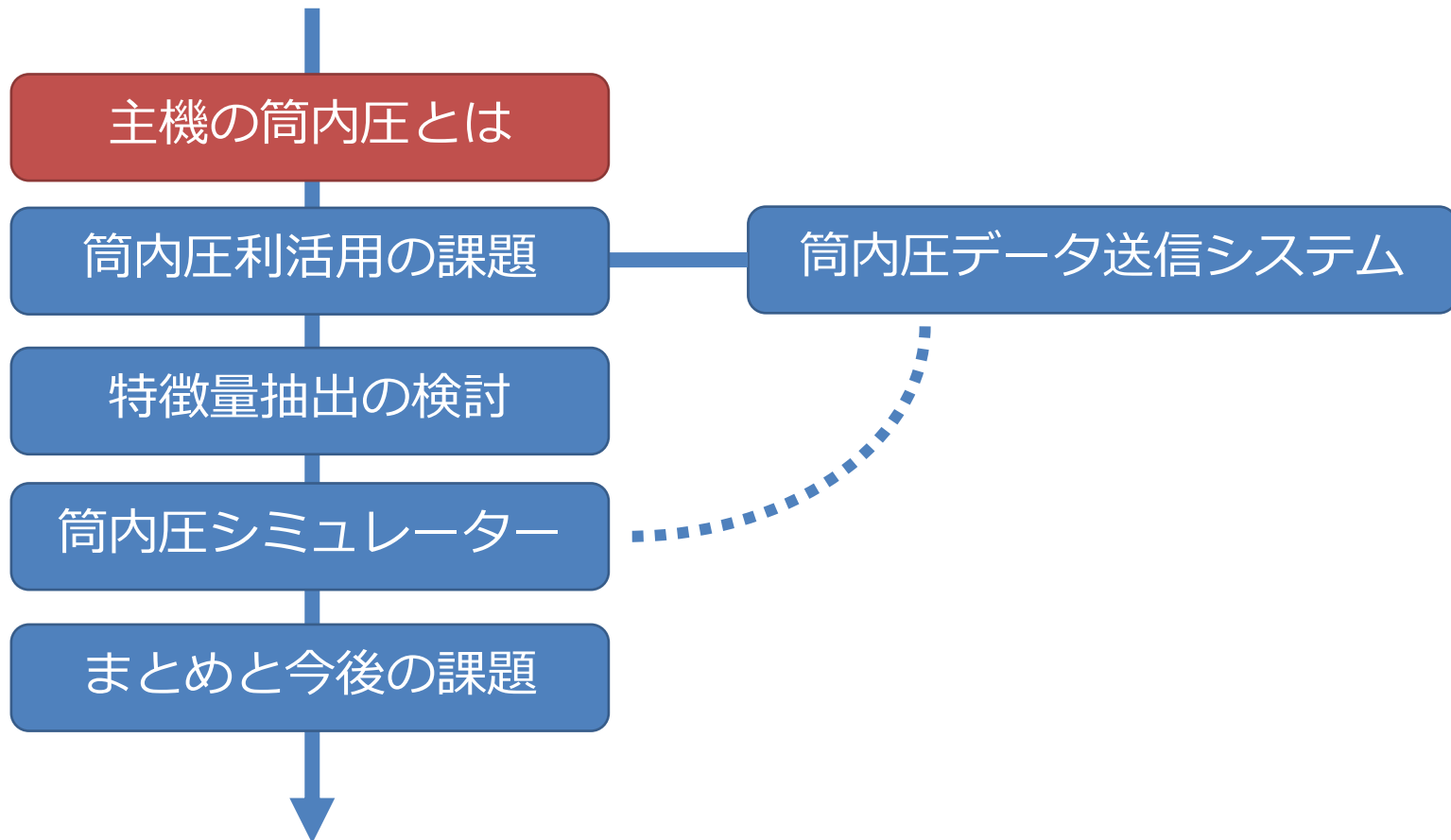


取り組みの流れ



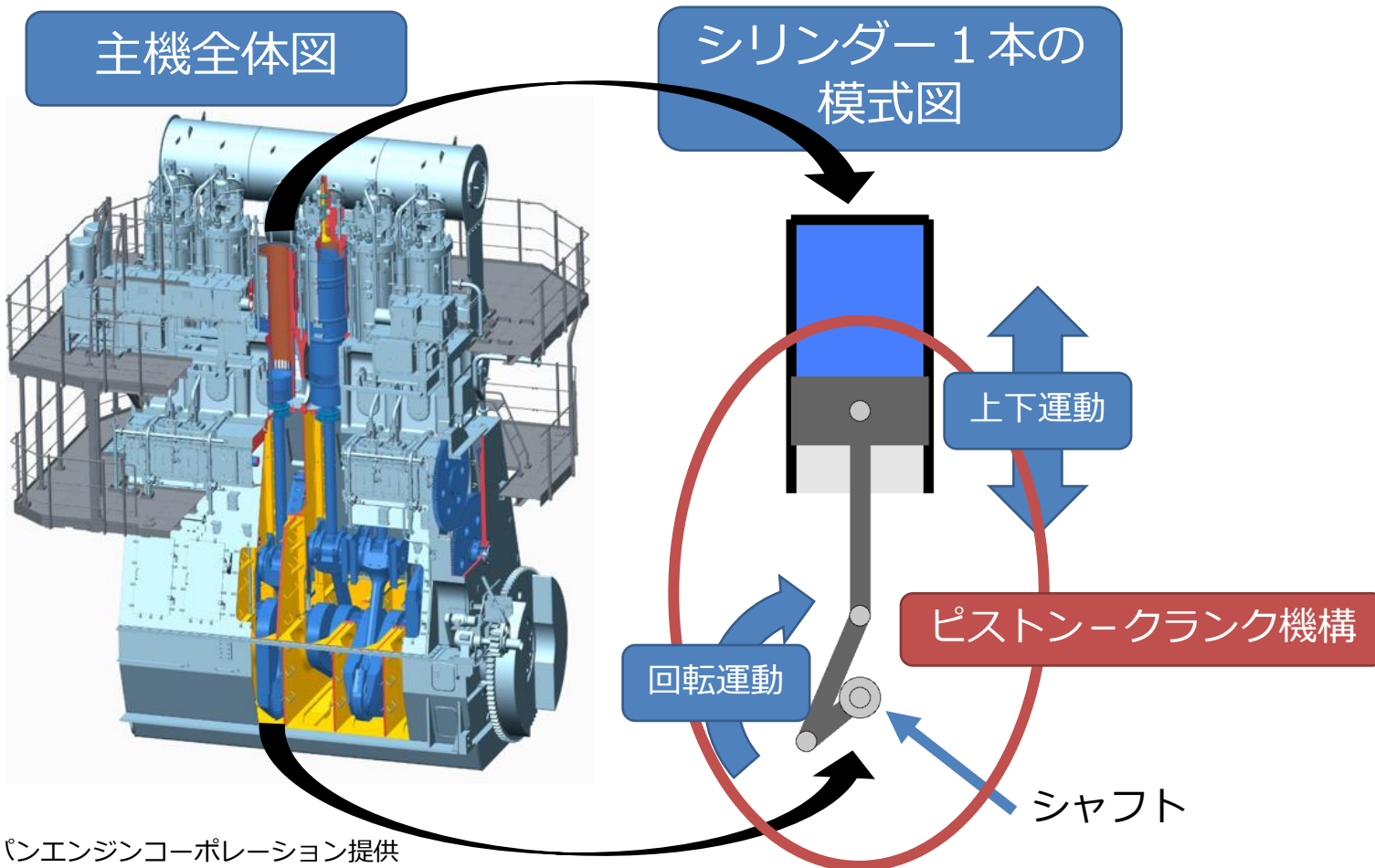


取り組みの流れ



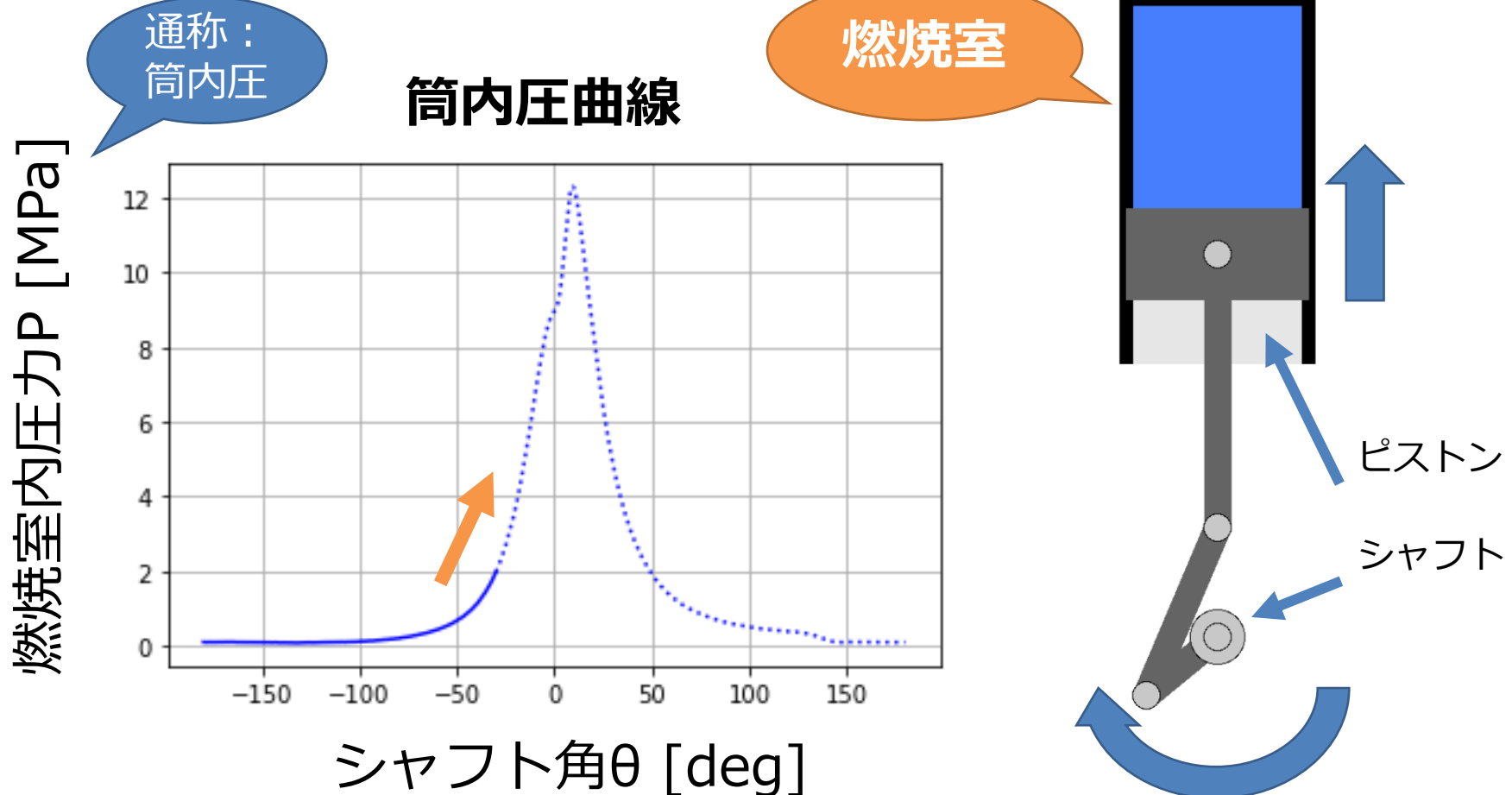
ディーゼルエンジン概要

※この発表では「主機＝エンジン」とする



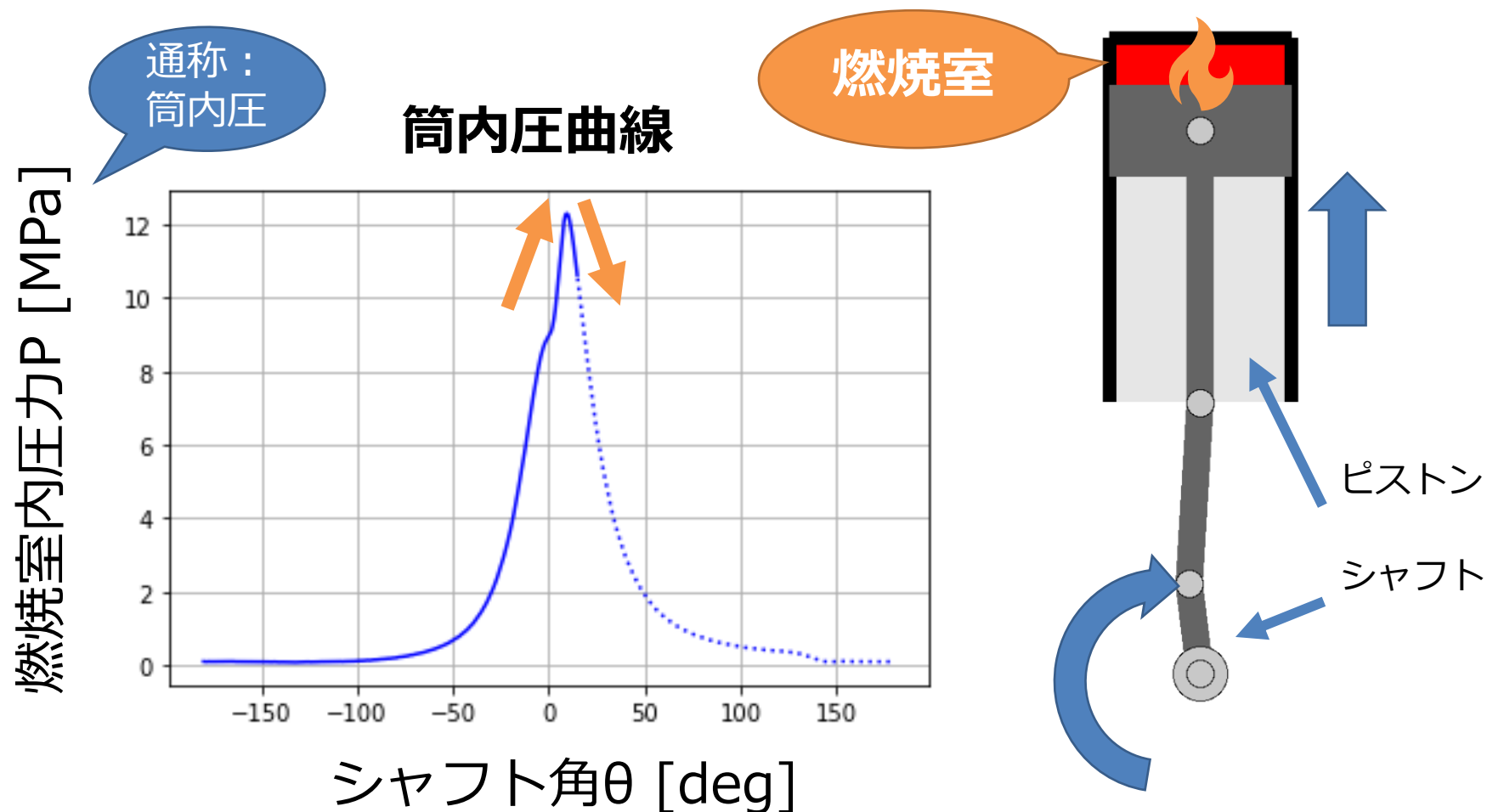
ディーゼルエンジン概要①：圧縮工程

ピストン-クランク機構が燃焼による膨張を回転に変換する



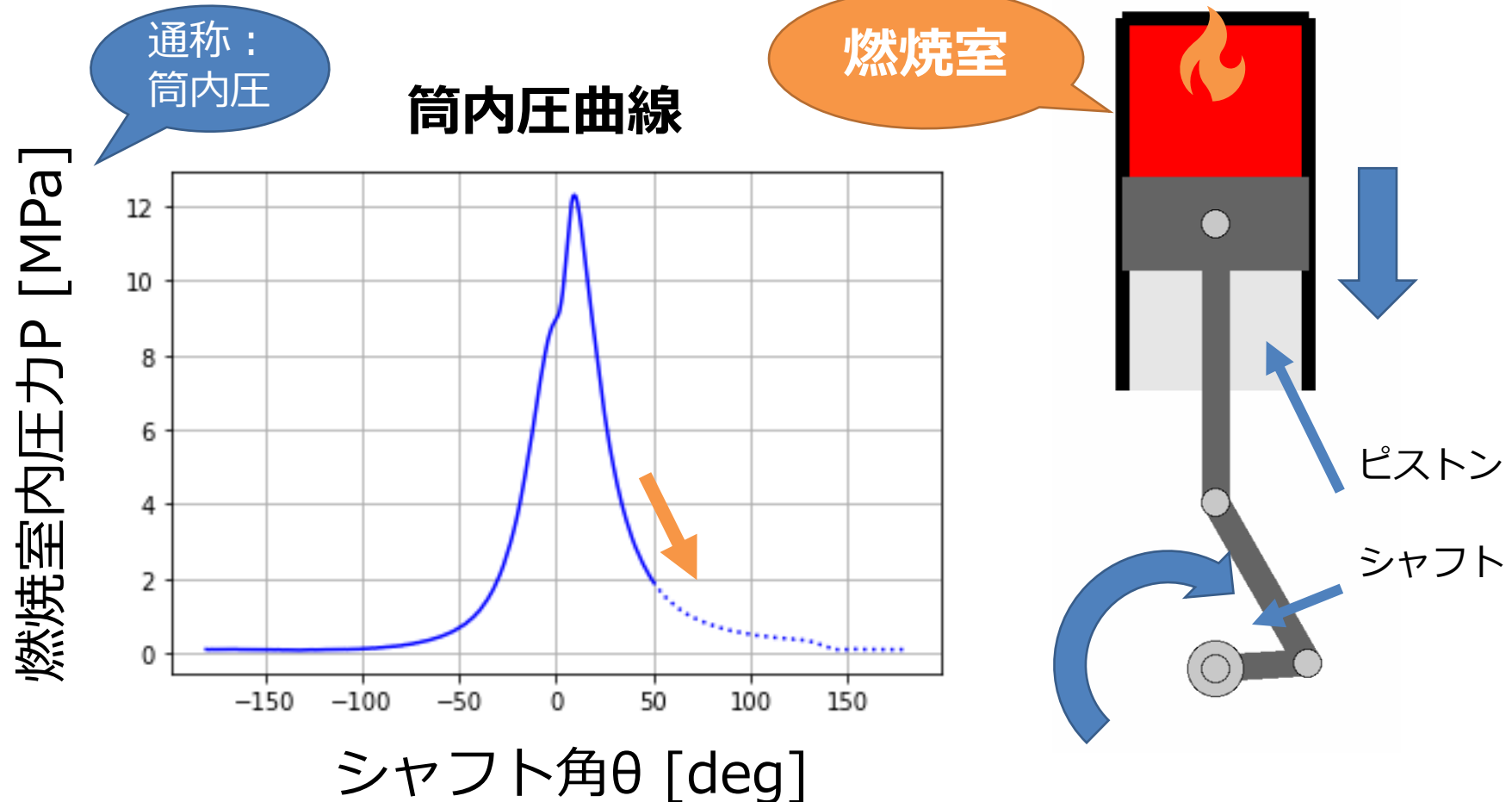
ディーゼルエンジン概要②：燃焼工程

ピストン-クランク機構が燃焼による膨張を回転に変換する



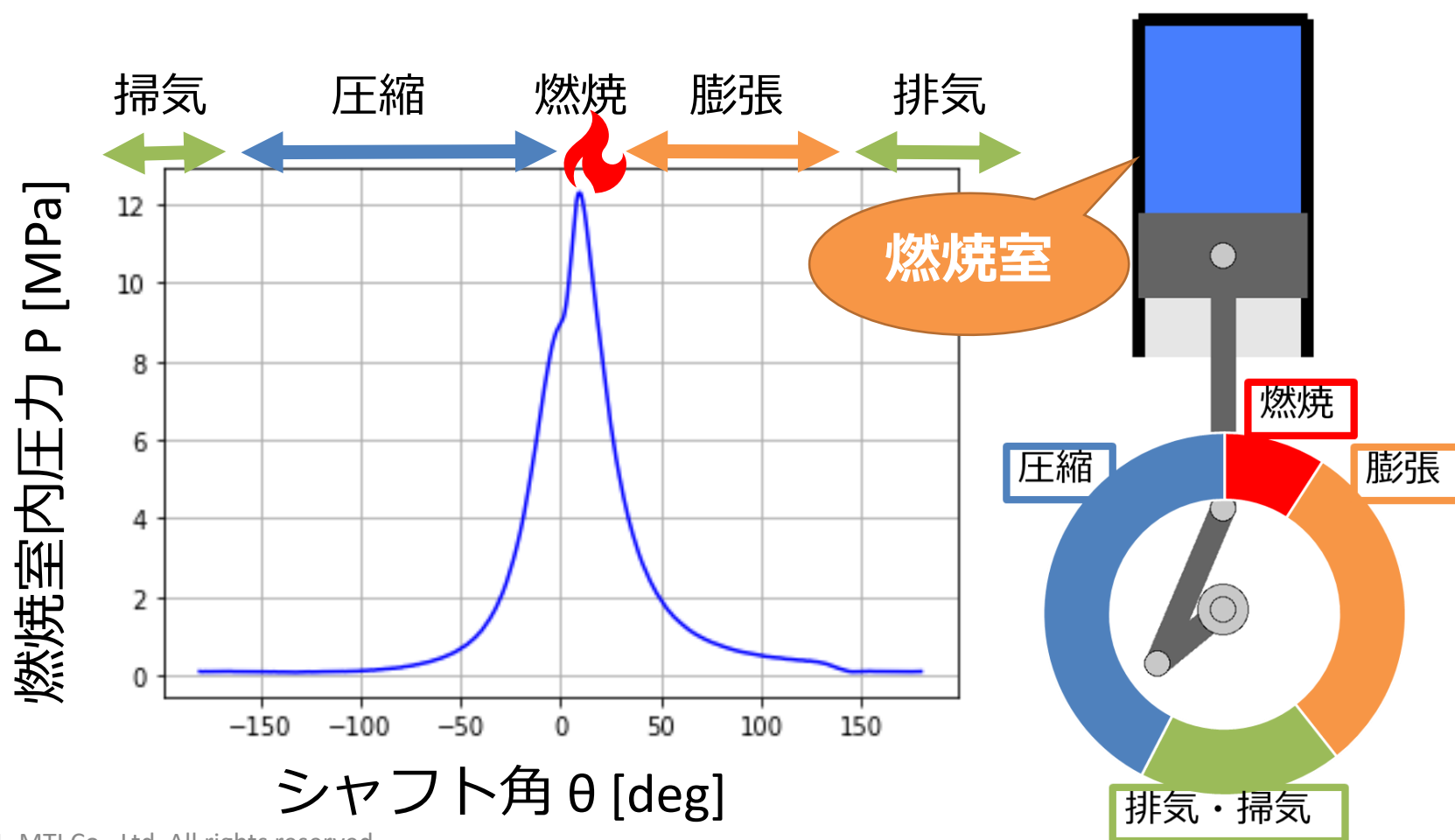
ディーゼルエンジン概要③：膨張工程

ピストン-クランク機構が燃焼による膨張を回転に変換する



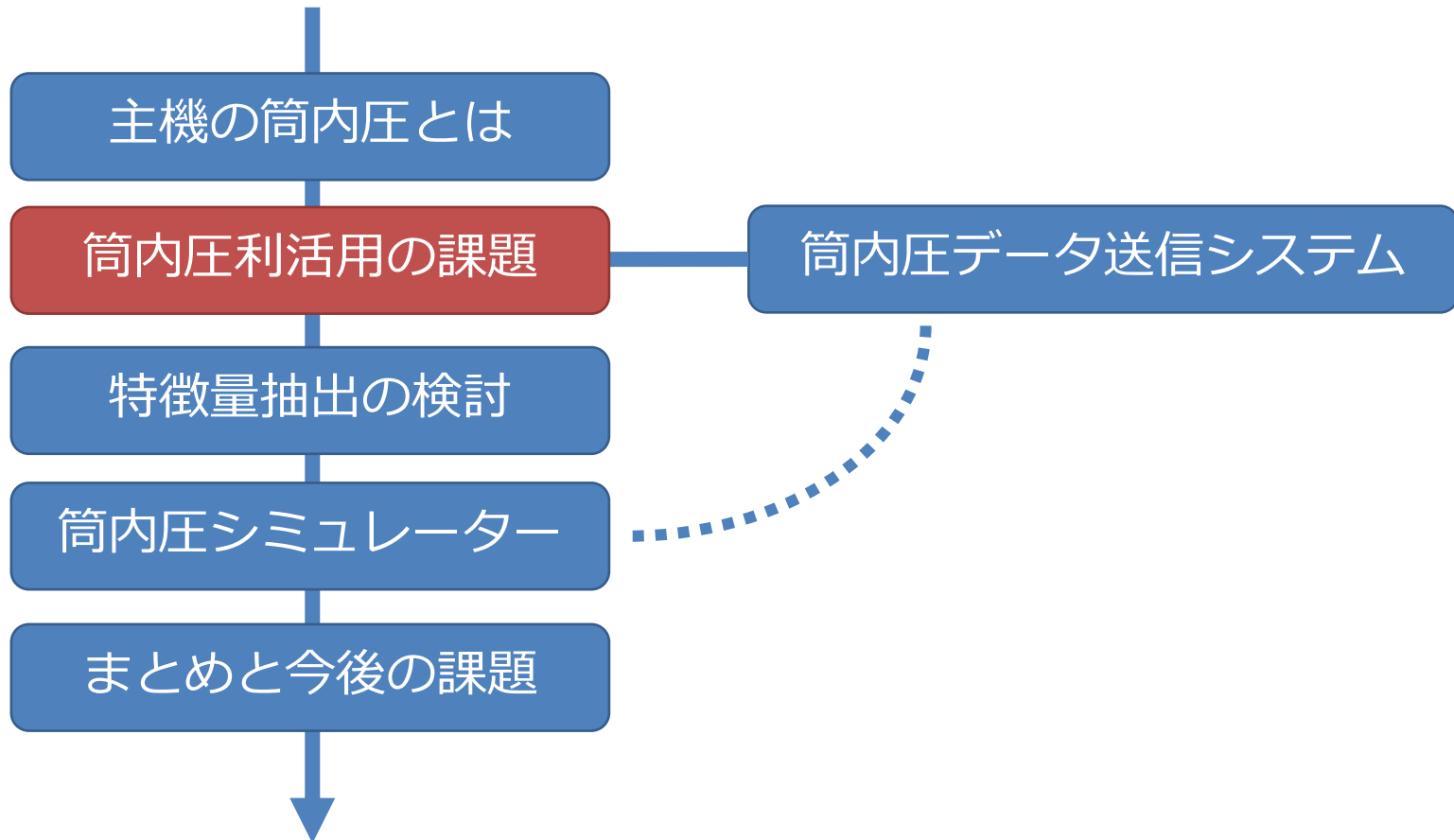
ディーゼルエンジン概要④：まとめ

ピストン-クランク機構が燃焼による膨張を回転に変換する



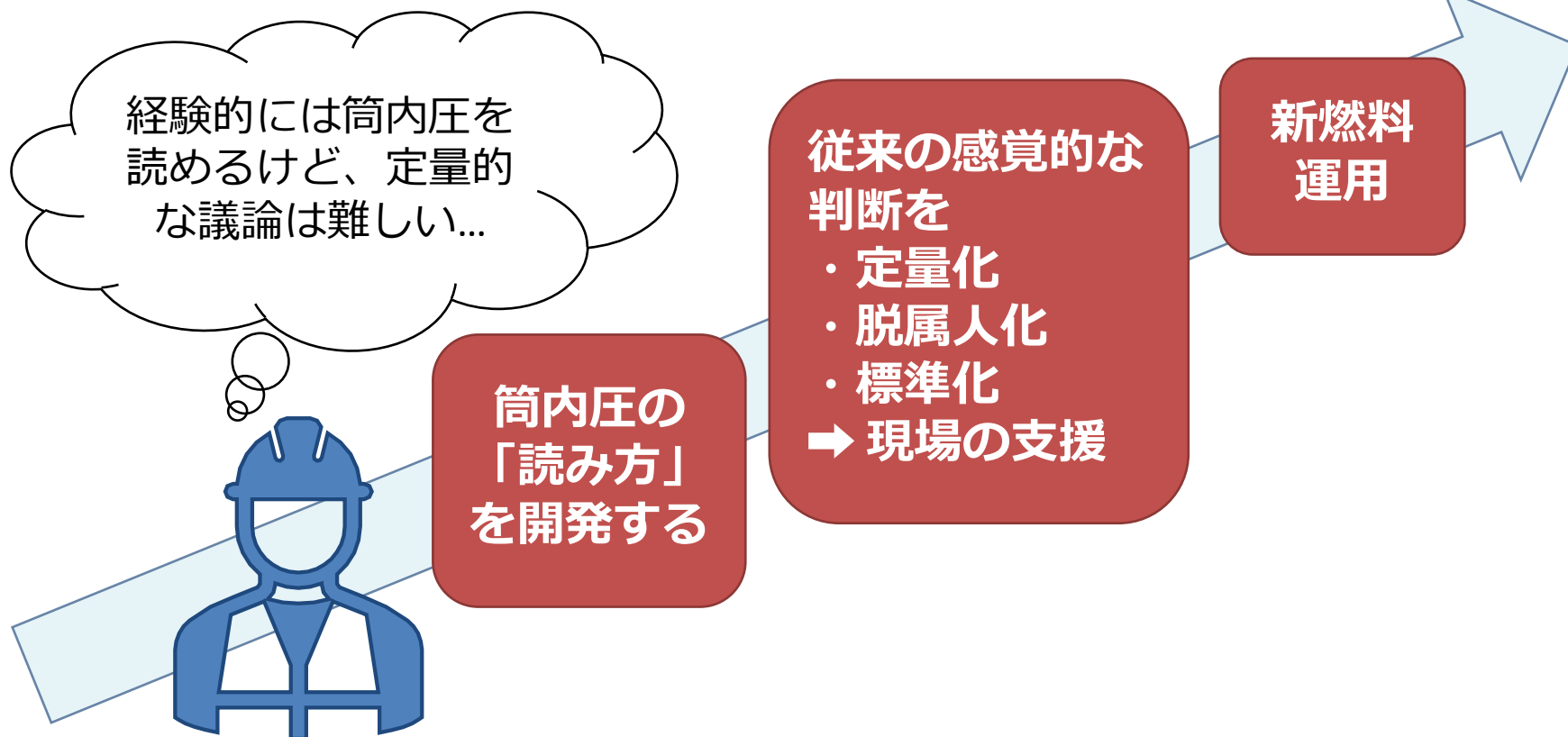


取り組みの流れ

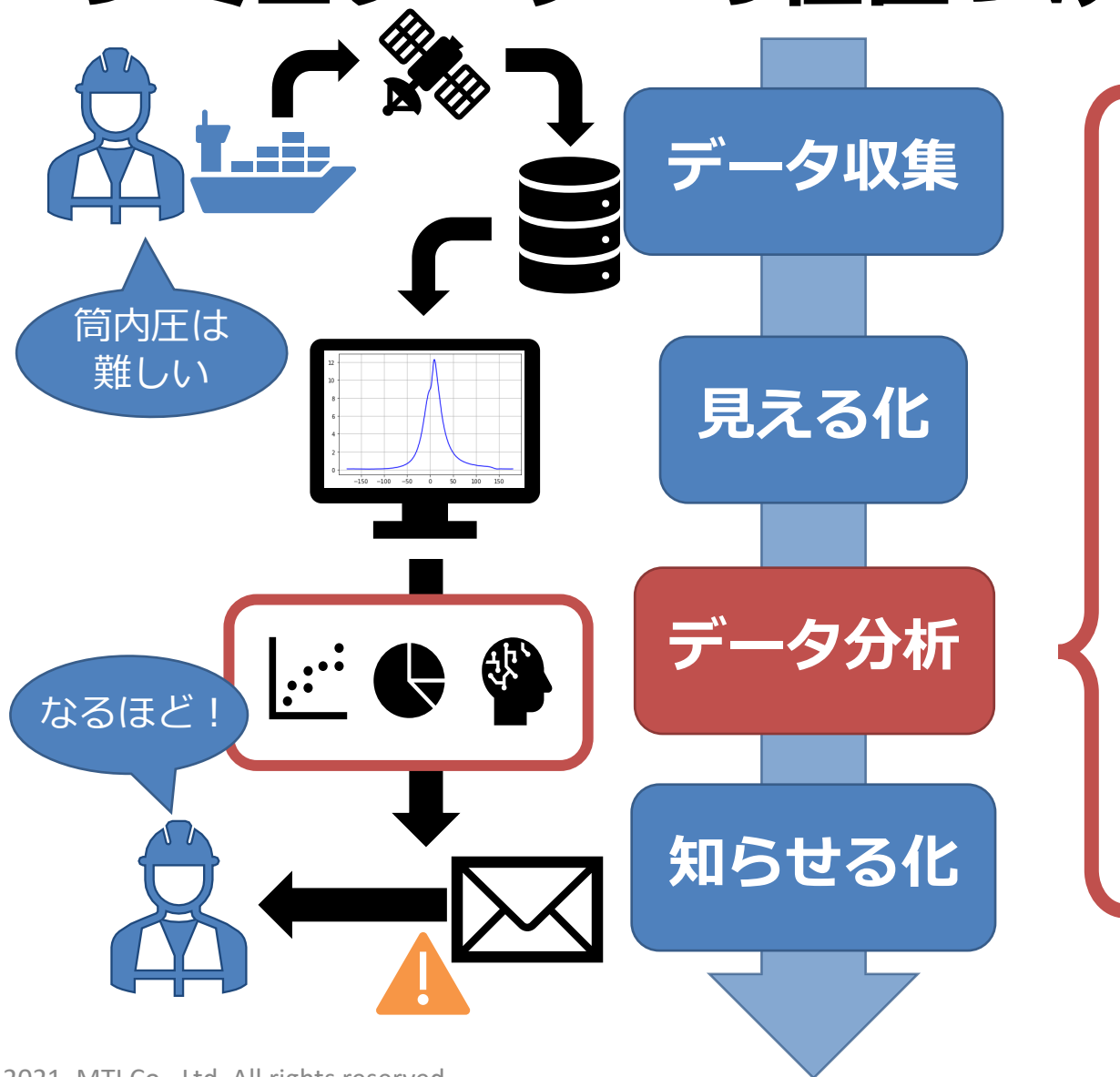


筒内圧利活用の課題

筒内圧は主機状態に関する情報が凝縮されていると考えられるが、活用が進んでいない。これを状態診断に活用していきたい。



シミュレーターの位置づけ

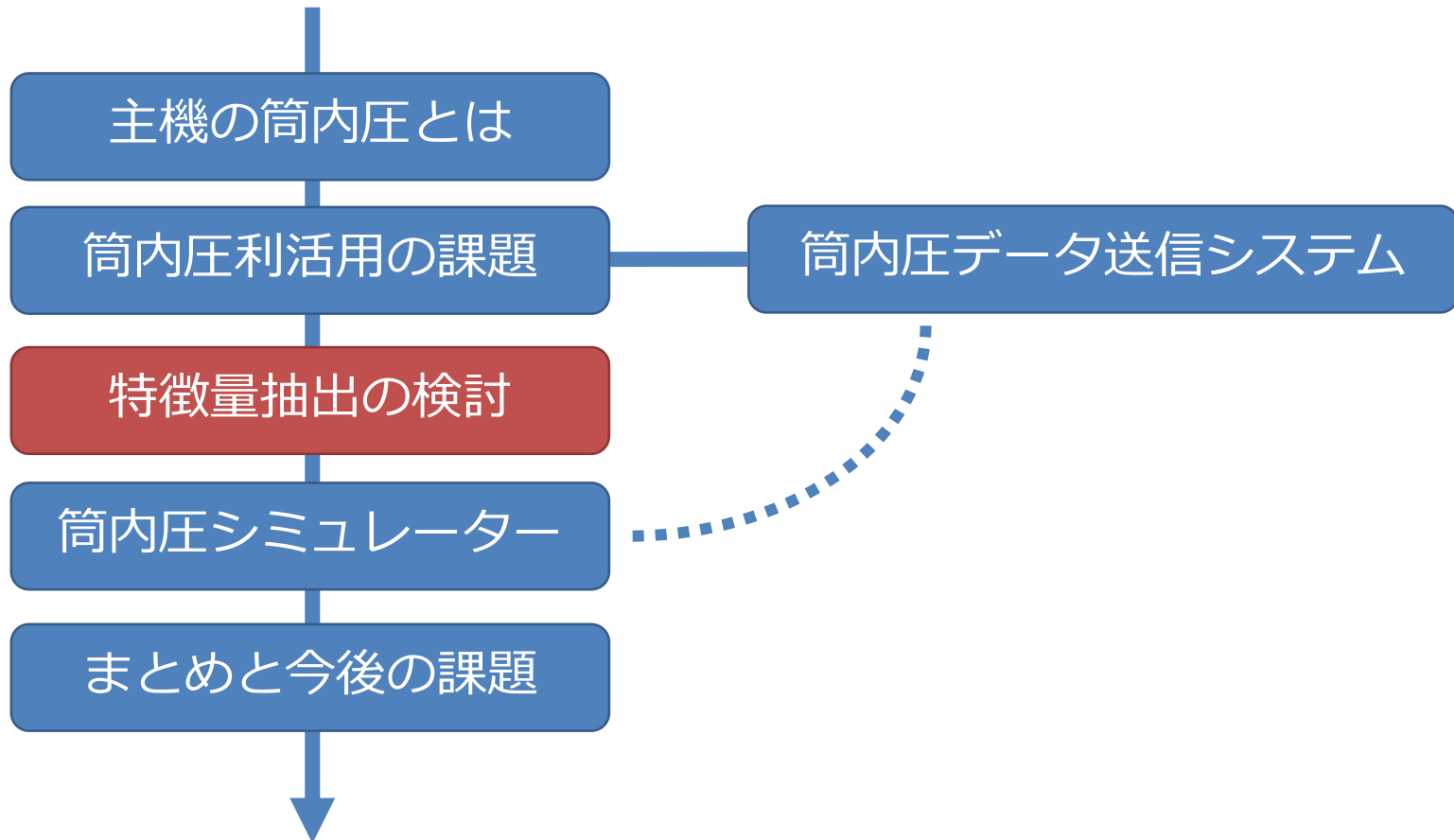


- データ分析のために、特徴量を取り出したい
例：

■ Pmax	} ※後に定義
■ Pcomp	
■ MFB50	
 - これらの組み合わせをどう解釈すれば良いのか？
- ↓
- シミュレーターが1つの答えを与えてくれる



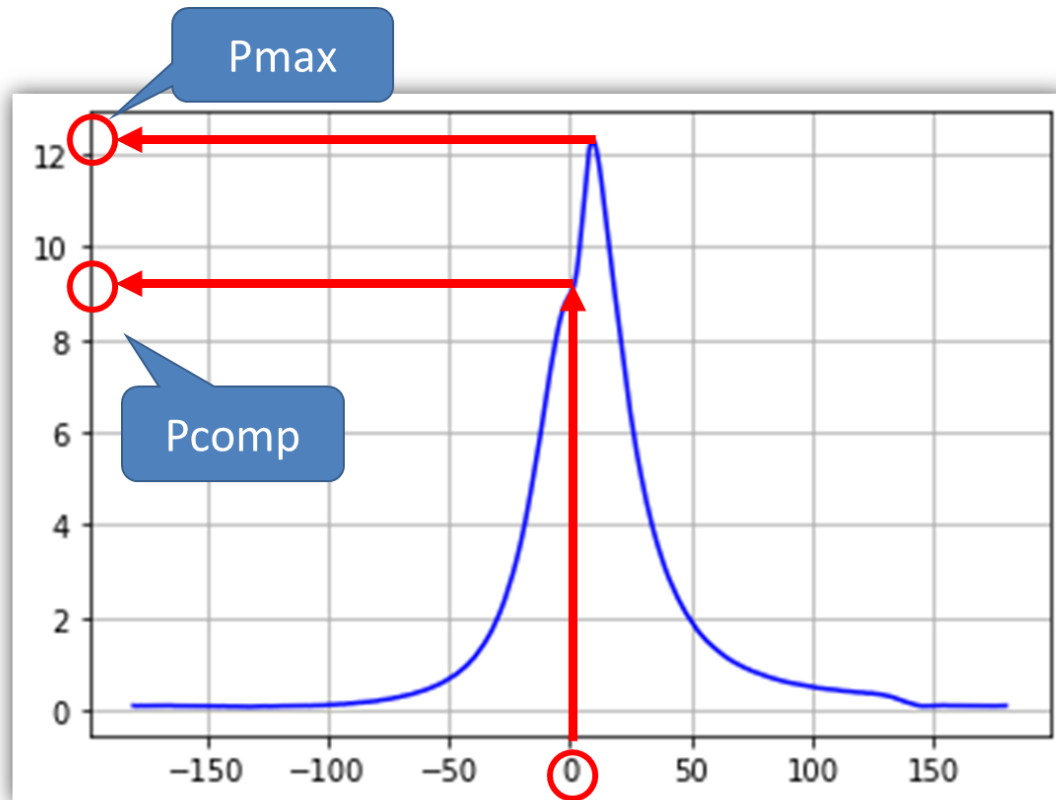
取り組みの流れ



主機状態と筒内圧：シンプルな特徴量

筒内圧曲線から読み取れる特徴量の代表例

- P_{max} : 圧力 P の最大値
- P_{comp} : シャフト角 θ が0度のときの圧力 P



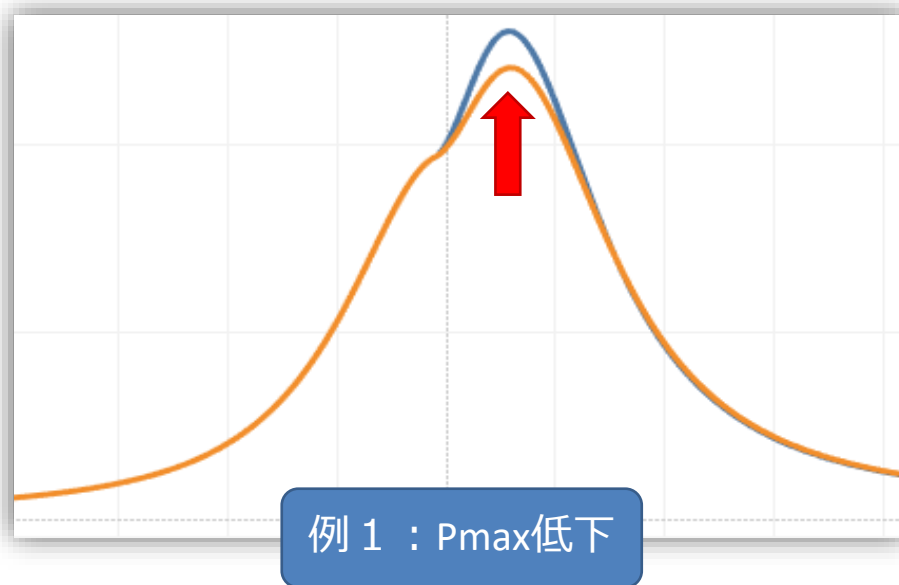
主機状態と筒内圧：特徴量の活用①

異常原因推定への典型的な活用例①

P_{max} が低下する

➡ 燃焼のスピードが遅くなっている

➡ 燃料を噴射するパーツの不具合？

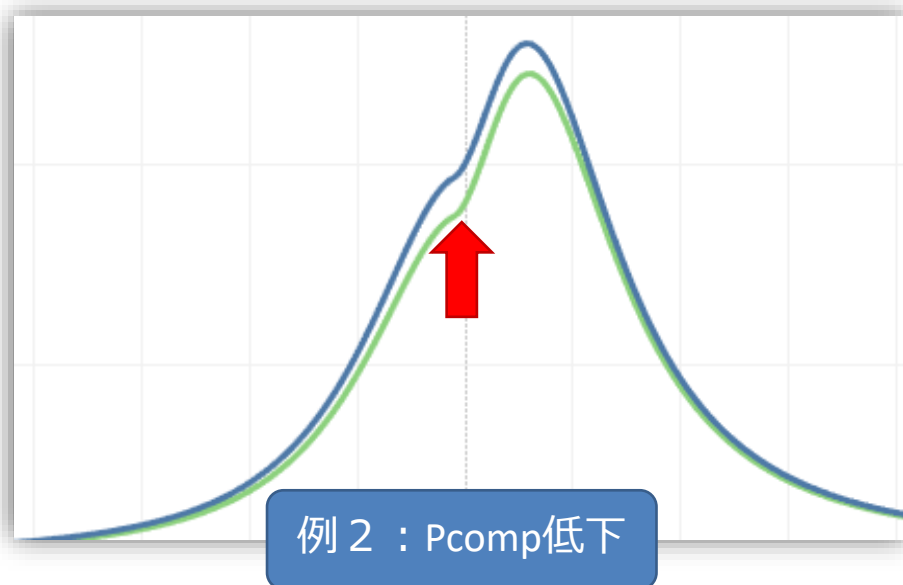


主機状態と筒内圧：特徴量の活用②

異常原因推定への典型的な活用例②

Pcompが低下する

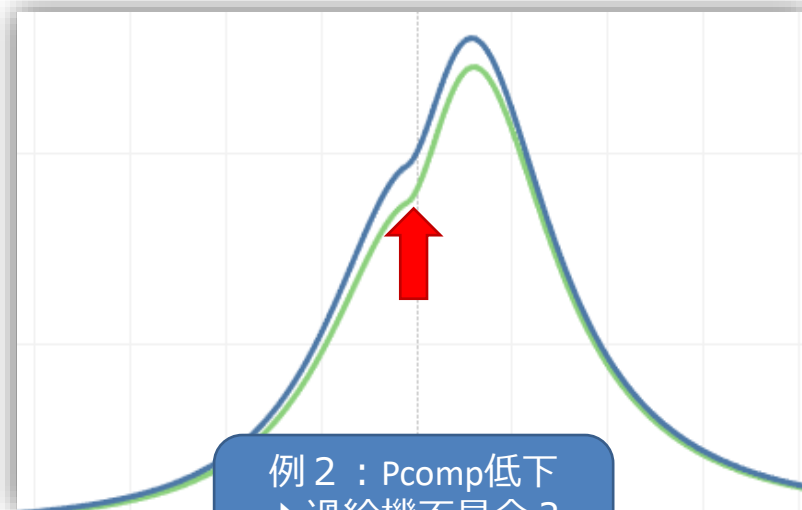
- ➡ 圧縮工程に不具合がある
- ➡ 燃焼室に空気を送り込む過給機の不具合？燃焼室の気密性が悪化したことによるガス漏れ？



主機状態と筒内圧：特徴量の活用



例 1 : Pmax低下
→ 燃料噴射系統の
不具合？



例 2 : Pcomp低下
→ 過給機不具合？
ガス漏れ？

<目標>

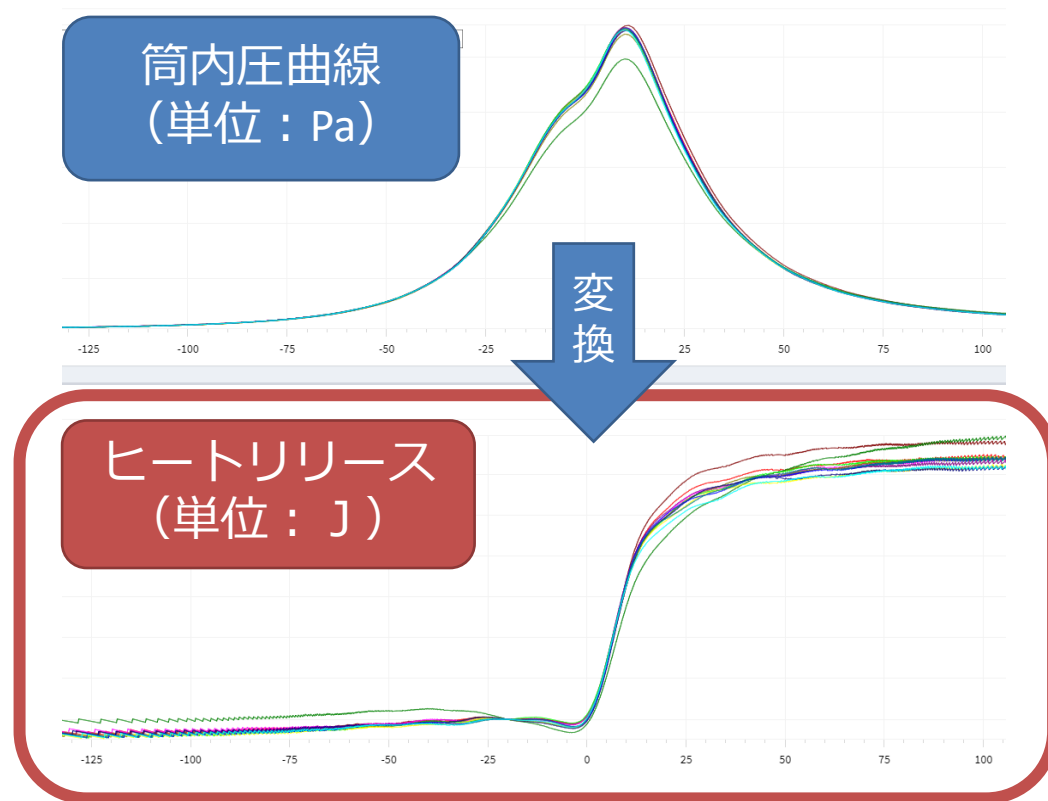
こうした筒内圧データ活用の高度化・システム化を通じた
状態診断を行うことで、ダウンタイムを削減しつつ、
新燃料の運用に繋げる

主機状態と筒内圧：複雑な特徴量

- より高度な計算として、筒内圧曲線を、燃料からのエネルギー発生量に変換することが可能

➤ 通称：ヒートリリース

- エネルギーに着目することで、物理的な解釈がしやすい特徴量が計算可能



主機状態と筒内圧：複雑な特徴量

➤ MFB50 :

ヒートリリース最大値の50%を達成した時点でのシャフト角度。

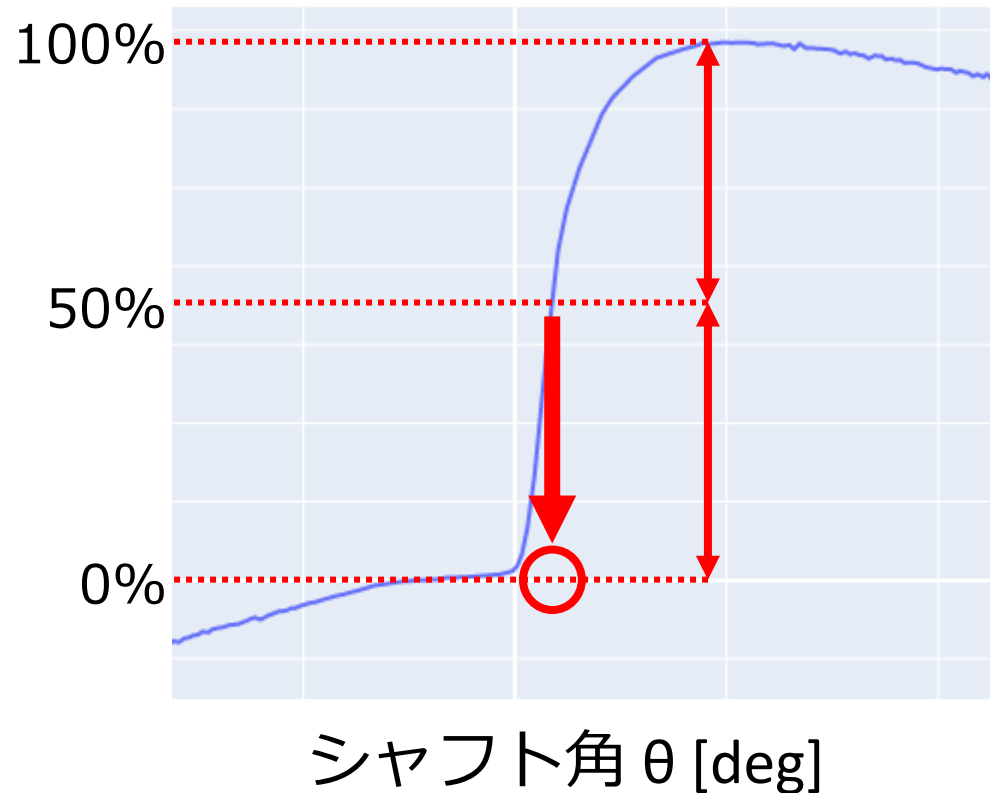
「50」を他の数字に変えた特徴量も定義可能。

例：

MFB90 – MFB10

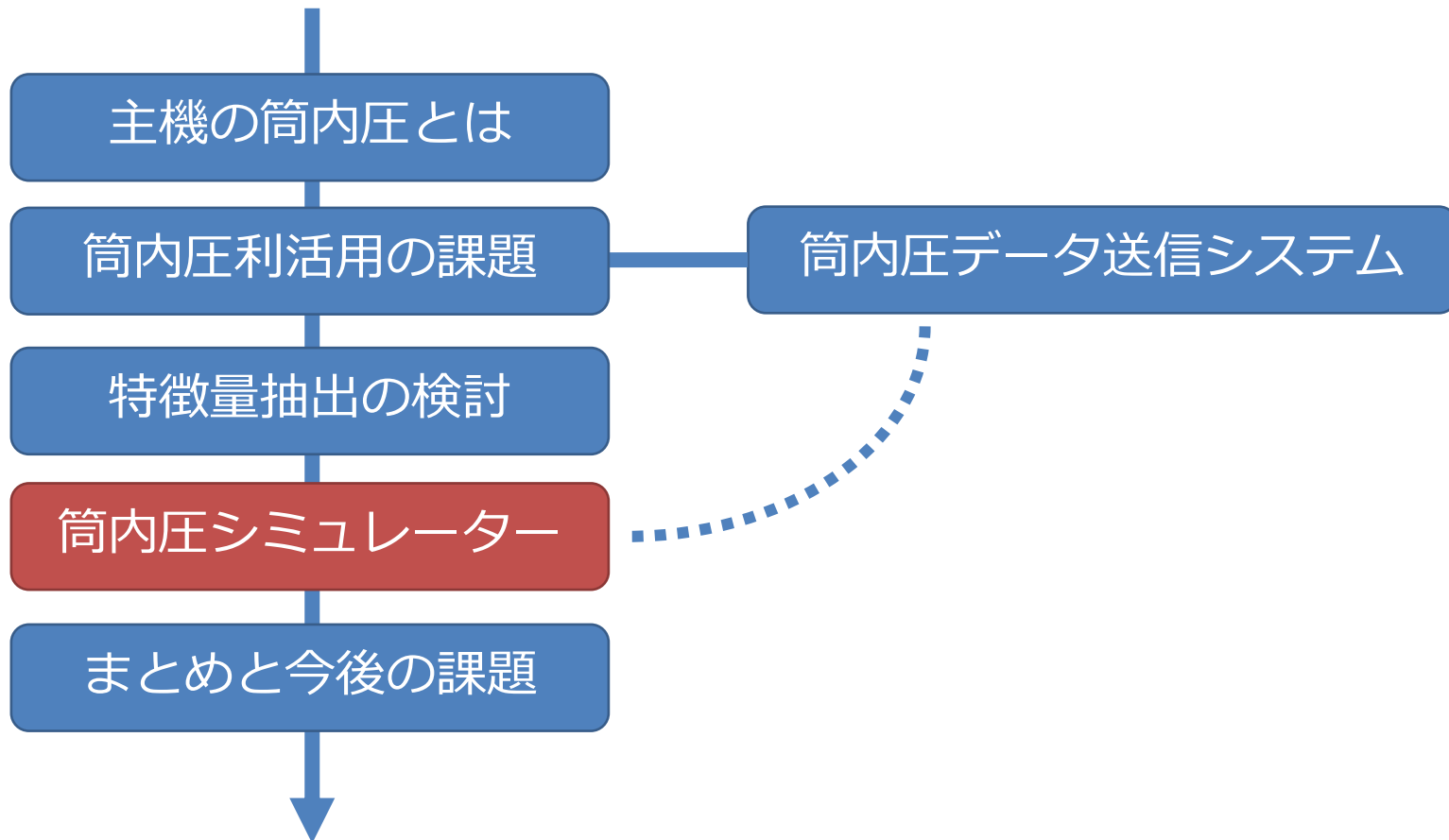
➡ 燃焼の遅れを反映する指標となる。

※MFB: Mass Fraction Burned





取り組みの流れ



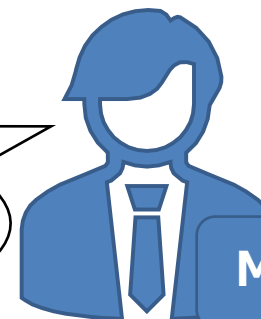
シミュレーター活用

NYK機関士



シミュレーションで特徴量が理解できそう。でも、パラメータが複雑で意味があまり分からない。
解説を読むと数式だらけ・・・

複雑な数式でも、じっくり咀嚼して現実との対応関係を説明できます。



MTI 研究員

NYKの経験豊富な機関士と、MTIの理系知識を持つ研究員のコラボレーションで、シミュレーターを使いこなす

シミュレーター活用：理論

熱力学第一法則（エネルギー保存則）をベースにして、燃料から発生するエネルギーをインプットすることで、微分方程式が立つ。

燃焼室内ガスが持つ
内部エネルギー

燃焼室内ガスがピス
トンに行う仕事

$$\frac{dU}{d\varphi} = \frac{dQ_C}{d\varphi} - \frac{dQ_W}{d\varphi} - p(\varphi) \frac{dV}{d\varphi}$$

燃料から発生するエネルギー
(ヒートリリース)

燃焼室の壁面が吸収する熱

シミュレーター活用：理論

熱力学第一法則（エネルギー保存則）をベースにして、燃料から発生するエネルギーをインプットすることで、微分方程式が立つ。

$$\frac{dQ_C}{d\varphi} = \frac{Q_{C,\text{total}}}{\varphi_{CD}} \cdot (-\log(1-r)) \cdot (\text{Vibe} + 1) \cdot \left(\frac{\varphi - \varphi_{\text{inj}} - \varphi_{\text{delay}}}{\varphi_{CD}} \right)^{\text{Vibe}} \cdot \exp \left[\log(1-r) \cdot \left(\frac{\varphi - \varphi_{\text{inj}} - \varphi_{\text{delay}}}{\varphi_{CD}} \right)^{\text{Vibe}+1} \right]$$

$$\frac{dU}{d\varphi} = \frac{dQ_C}{d\varphi} - \frac{dQ_W}{d\varphi} - p(\varphi) \frac{dV}{d\varphi}$$

$$\frac{dU}{d\varphi} = m_{\text{ch}} \frac{R}{\kappa - 1} \cdot \frac{dT}{d\varphi}$$

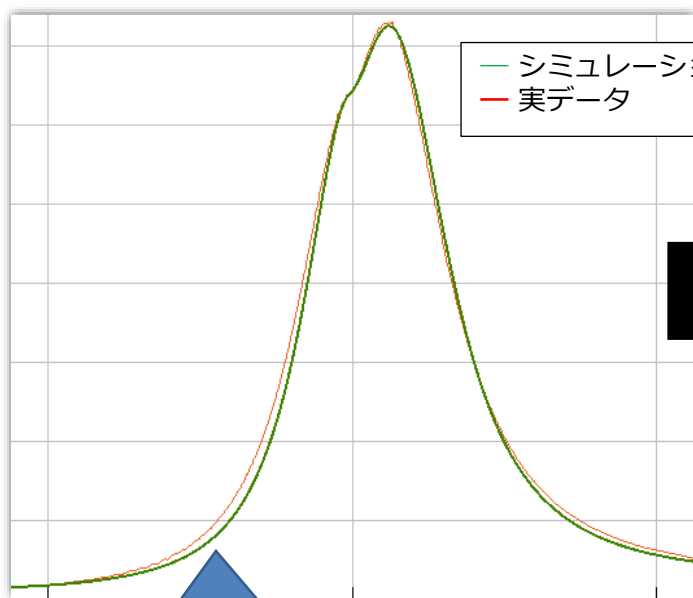
$$pV = m_{\text{ch}} RT$$

$$\frac{dQ_W}{d\varphi} = \frac{130}{\omega_{CD}} \cdot V^{-0.06} \cdot p^{0.8} \cdot T^{-0.4} \cdot (\bar{v}_p + 1.4)^{0.8} \cdot \text{Area}_W \cdot (T - T_W)$$

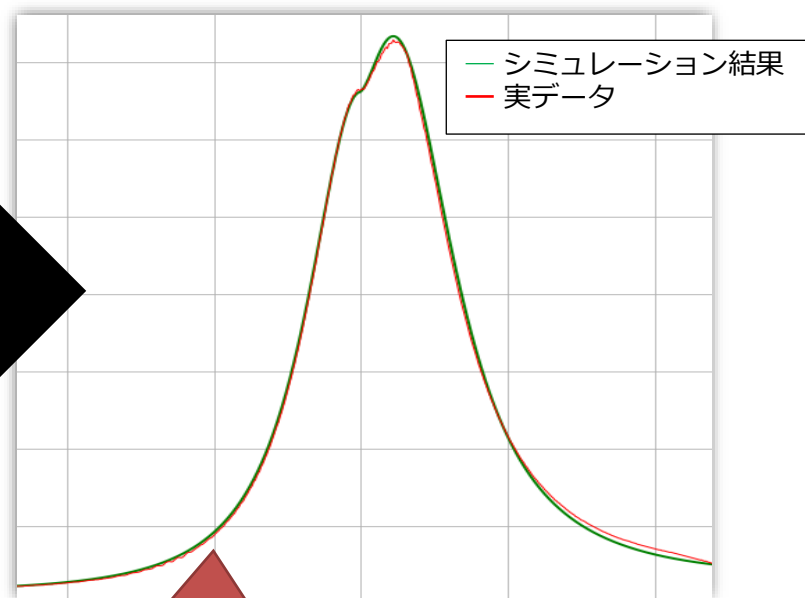
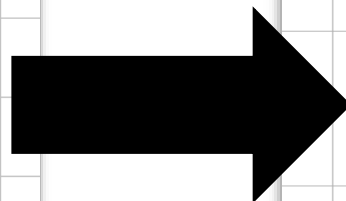
実際は非常に複雑な連立微分方程式であり、
数学的な従属関係を調査するだけでも一苦労

シミュレーター活用：精度

当初、どのようにパラメータを選んでも実績値とのフィッティングが悪いという問題があったものの、あるアプローチによって解決



物理的にはシンプルな構造を持つ
圧縮工程がうまく合わない



圧縮工程のフィッティングに成功



シミュレーター活用：Fault Injection

異常状態をシミュレーションして、筒内圧がどう変化するかを観察

例：燃焼の不具合

➡ 出力が2%減

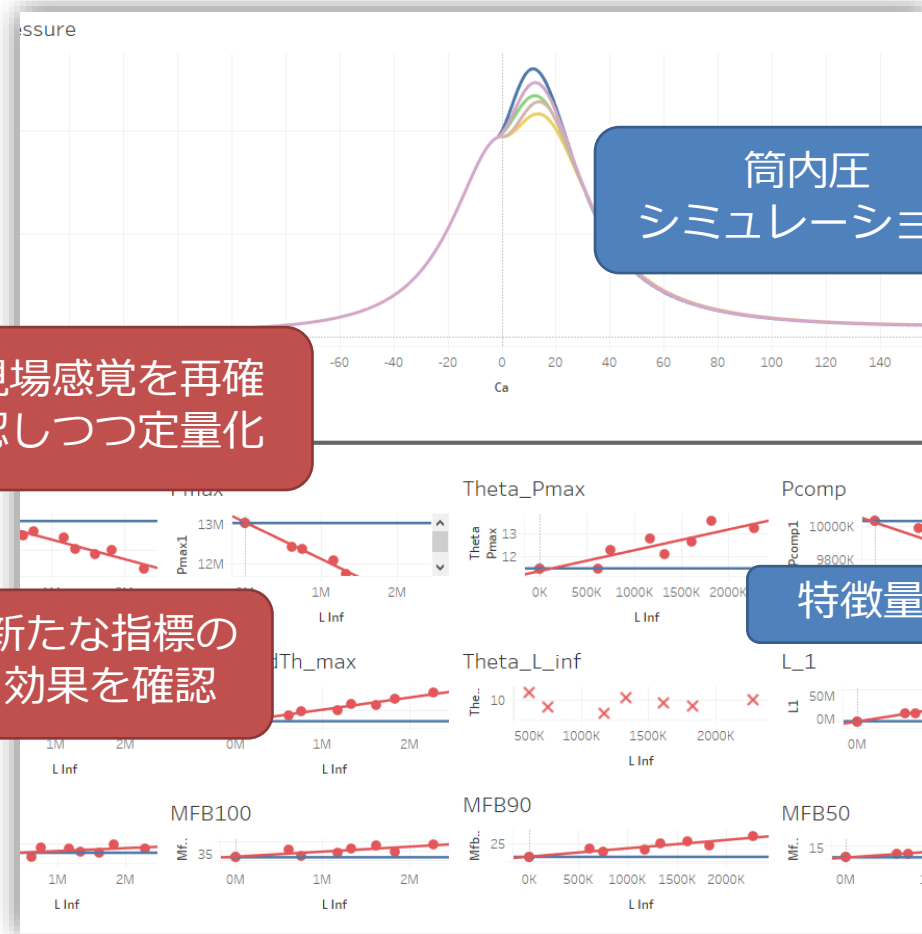
Pmaxが強い相関

MFB50も強い相関

現場感覚を再確認しつつ定量化

新たな指標の効果を確認

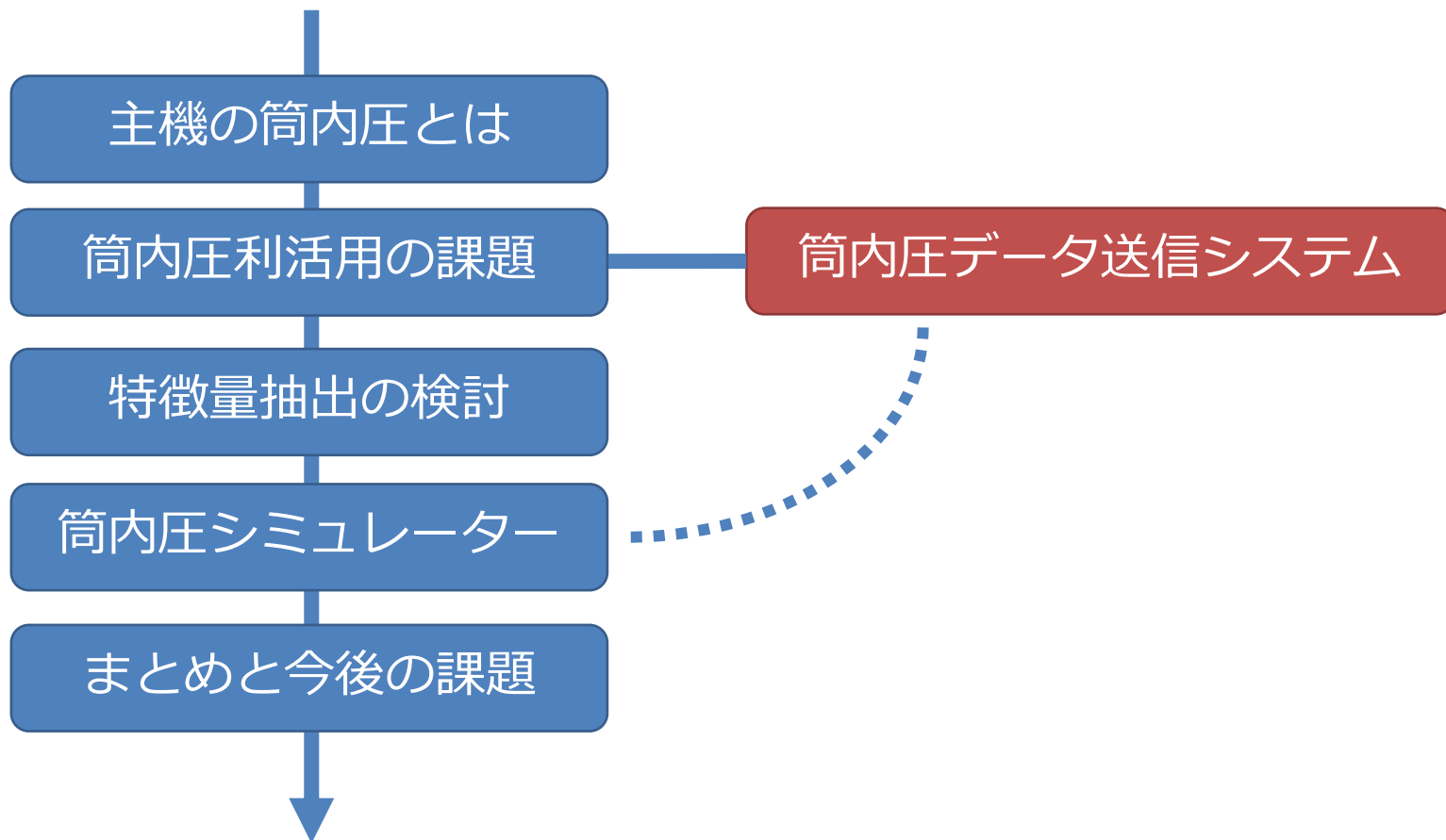
筒内圧
シミュレーション



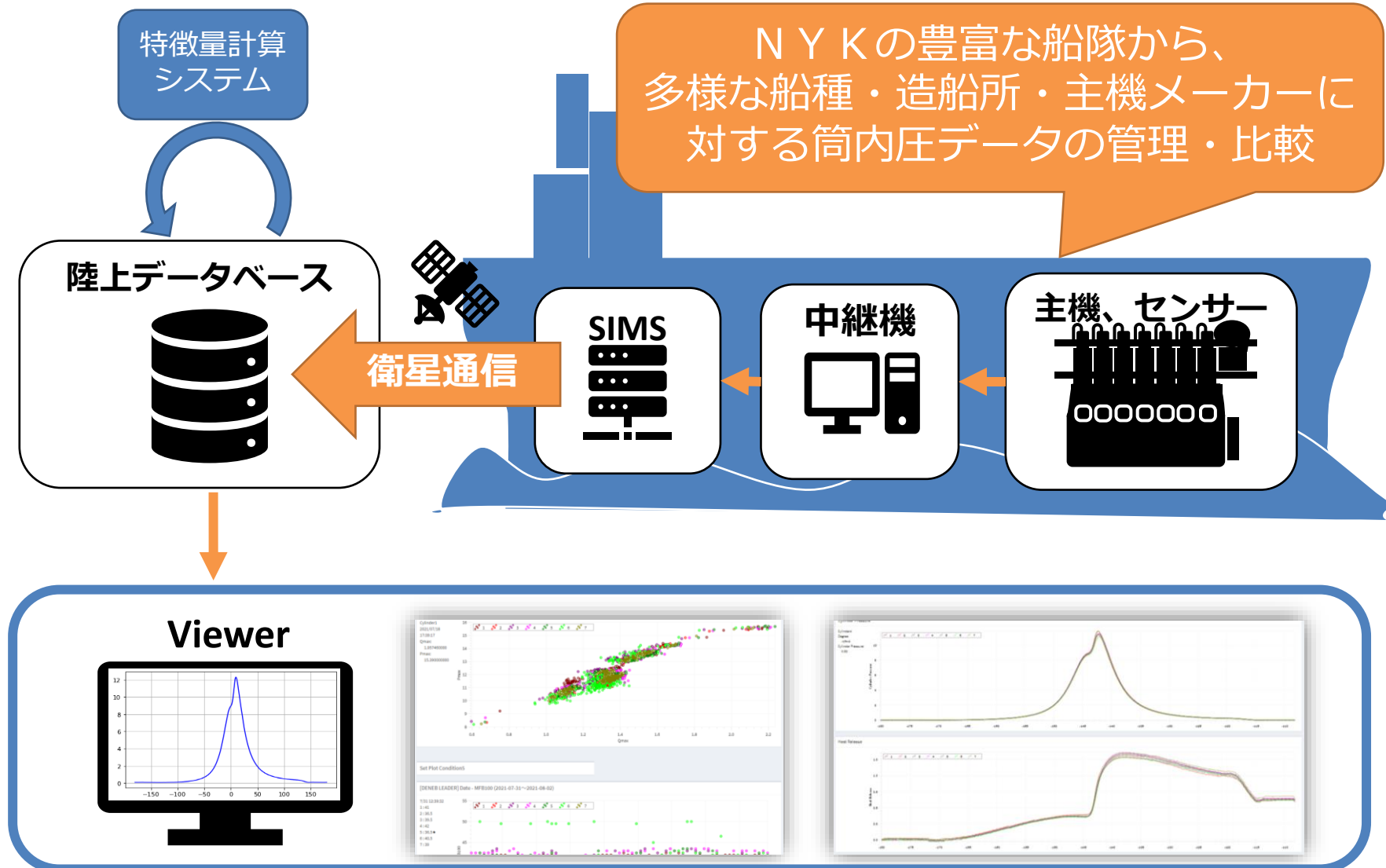
特徴量



取り組みの流れ

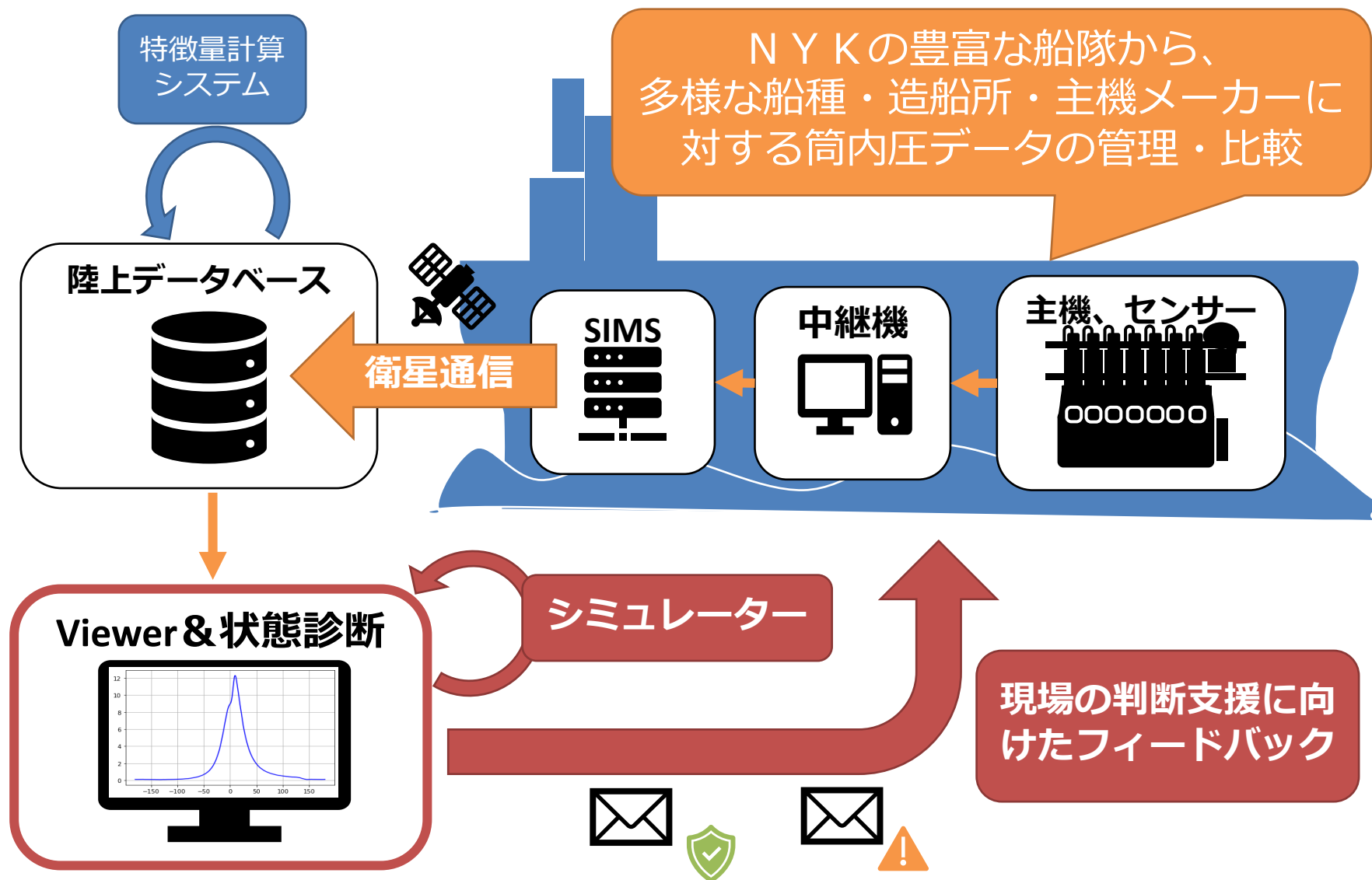


筒内圧データ関連システム：AS IS



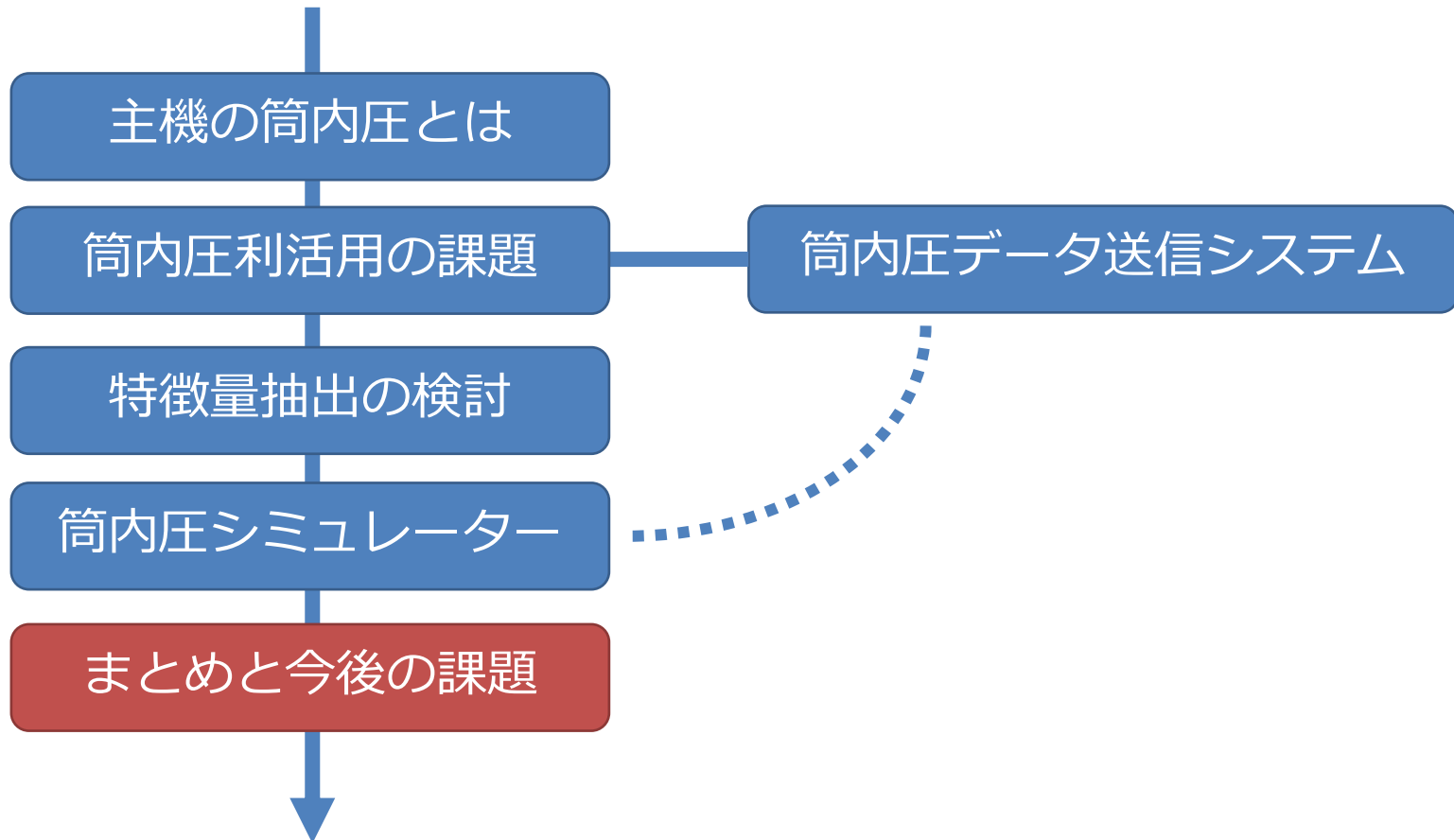


筒内圧データ関連システム：TO BE





取り組みの流れ

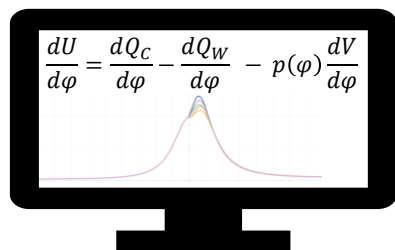




これまでのまとめ

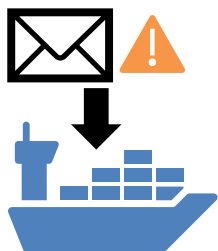
- 筒内圧データを収集してViewerを構築して、見える化を行った
- データ分析のステップにおいて、複雑なデータを解釈するためにシミュレーションを行い、実績値とのフィッティングを行うノウハウを確立した
- Fault Injection によって、従来より多くの特徴量を定量的に理解することができるようになった
- 今後の目標として、シミュレーションをさらに進めて状態診断を行うロジックを確立して、現場へのフィードバックを目指している

今後の課題



シミュレーター

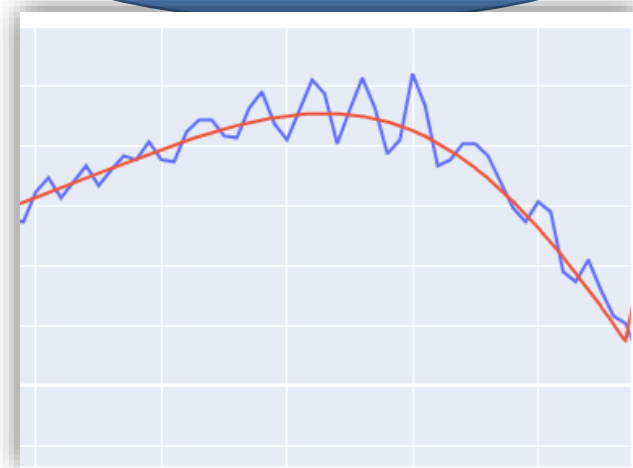
パラメータは正しいのか？
十分な精度はあるのか？



状態診断システム

誤診断はないか？

筒内圧センサーの
ノイズ幅とも関連



機関士の知見と実機の不具合データでカバーしつつ、
さらにエンジンやセンサーのメーカーをパートナー
として進めていきたい

ご清聴どうもありがとうございました。