

生産システムや製品開発におけるIVR の活用

Improvement of Industrial Virtual Reality (IVR) at The Root of Manufacturing System and Product Development

赤	澤	公	雄	袁	田		隆	村	田	直	史
Ш		ΤĒ	隆	赤	木	朋	宏	筒	井	健	司

発電プラントといった大型機械から中量産品と呼ばれる小型機械までの幅広い製品の開発段階において,インダスト リアル・バーチャル・リアリティ(IVR)技術は,開発加速やトラブル未然防止を達成する上で必須の技術となってい る.近年,計算機の発達はめざましくコンピュータ上で仮想(バーチャル)の動的挙動を種々検討することが可能にな ってきた.本報では,原子力発電プラント,火力発電プラント,フォークリフト,電動射出成形機の製品開発における IVR技術を活用した事例と得られた成果を紹介する.

1.はじめに

製品開発のインダストリアル・バーチャル・リアリテイ (IVR)とは,近年急速に産業界で普及した製品開発に対す る多方面での数値シミュレーション技術及び三次元 CAD設 計技術の適用に関する各種試みを示すものである.三次元 CADを中心とした組立てシミュレーションあるいは工場レ イアウト等の製造効率化を目指す製造軸の試みとは異なる技 術分野に属する.

多数の製品市場がグローバル化している現況にあって,性能・信頼性の確保はもとより,少ないビジネスチャンスをとらえるためには開発期間の短縮により,お客様のニーズを満足させる製品をいち早くお客様に供給する必要がある.本報ではIVRに関する当社の取組みについて紹介する.

2.IVR の取組み

IVRの一つとしてマルチボディダイナミクス技術がある. これは,車両のような機械製品に作用する接触・摩擦力のような時々刻々と変化する外力を解析し,機械の構成部品及び 全体の運動を予測する手法であり,コンカレントエンジニア リングの一分野として定着しつつある.最近では三次元 CADの設計情報を利用し,より精度の高い設計技術として 発展することが期待されている.

IVRのもう一つは、ダイナミックシミュレーションである. これは、お客様が機械の運転切替えや起動停止などの操作を 行ったとき、あるいは外気温度のようにお客様の使用環境に よって変化する因子が変わったときや機械の経年変化の影響 があった場合の機械の挙動を予測するものである.このダイ ナミックシミュレーションを製品開発段階で実施すること で、お客様が使用される状況を想定した製品設計と品質向上 に努めている.

3.適用事例

3.1 フォークリフト

フォークリフトのような物流車両の開発期間短縮のために は設計段階で車両全体の運動性能を予測し,コンポーネント 性能等の不適合対策を設計に反映することにより,極力実車 による性能検証期間を短縮することに努めている.ここでは エンジン式フォークリフトを対象に,エンジン,ポンプ等の 動力源,油圧源を数式モデルに,車体及びマスト等を多体機 構モデルに置換し,両者を連成させることにより,実作業シ ミュレーションを可能とした事例について紹介する⁽¹⁾.

まず,モデリングの概要について述べる.フォークリフト の主要部品の構成は図1に示すとおりである.これらの部品 で構成された車体やマスト等の機構モデルについては汎用機 構解析コードMSC.ADAMSを用いて構築し,エンジン,ト



三菱重工技報 Vol.40 No.6 (2003-11)

ルクコンバータ,伝達ギア等のパワートレイン及び油圧ポン プ,制御弁,油圧アクチュエータ等で構成された油圧システ ムについては,汎用動解析コードMSC.EASY5を用いて構築 した⁽²⁾.図2に示すようにタイヤ駆動トルク,回転速度,リ フト駆動力,リフト速度,変位などの物理量を両者のモデル 間でお互いにやり取りすることで車両の総合的な動的シミュ レーションが可能となる.

代表的なシミュレーションを2例紹介する.まず1つは図 3に示す段差乗り越しシミュレーションである⁽³⁾.半円バー を右片輪,両輪,左片輪の順に乗り越すもので,図3(a) は実車による試験状況を示し,図3(b)はシミュレーショ ン状況を示す.また,図3(c)は,障害物乗り越し時の前 輪の車軸中心付近における上下方向の応答加速度である.こ の図よりシミュレーションは最大応答(図中*印)及び周期 共に良好に実測値と対応していることが分かる.

次に荷役動作と走行動作が複合した規定の作業サイクルパ ターンをシミュレーションする事例について説明する.作業 サイクルパターンは,ヒートバランス試験や燃費試験を行う 場合に用いられる運転パターンであり,規定の距離を有する



図2 機械システムと動力システムの連成モデル タイヤ駆動 トルク,回転速度,リフト駆動力,速度,変位などの物理量の やり取りを行う.



2点間を往復走行するとともに折り返し地点では荷物の積み 降ろしと荷物の上げ下げを行うものである.図4は,荷役, 走行が連動するシミュレーションの状況を示したものであ る.シミュレーションは,実車試験で得られた操作量を入力 波形として使用している.図5は,代表的な状態量の応答に ついて実測とシミュレーションを比較したものであり,上図 がエンジン回転数,下図がリフトアクチュエータの負荷圧の 時系列波形を示している.同図によればシミュレーションは 実測と良い対応を示しており,特にリフト負荷圧を見ると変 動幅,変動周期ともによく実機を再現できている.また,フ ォークリフトの作業性を評価する指標であるサイクルタイム についてみると実験156秒に対して,シミュレーション162 秒と±5%以内の誤差に収まっている.

本節の結論をまとめると,まず,荷役性能や加速性能,制 動性能,旋回性能など基本的な運動性能はほぼ実機を再現で きることを確認した.また,荷役動作と走行動作を複合させ た場合でも精度よくシミュレーションが可能で標準作業のサ イクルタイムを例にとると実験に対し±5%以内の高精度で シミュレーションが可能である.今後は,操作性評価,乗り心 地評価,燃費評価などについても実施していく予定である.



図 5 シミュレーション結果 エンジン回転数とリフト負荷圧の 時系列変化を示す.

三菱重工技報 Vol.40 No.6(2003-11)

3.2 原子力発電プラント運転訓練シミュレータ

すべての製品がそうであるように,原子力発電プラントの 事故はあってはならないものである.しかしながら,こうし た事故事象が万一生じた場合でも安全にプラントを停止でき るような設計が求められている.特に原子力発電プラントの 場合には事故時の設計検証を実験で実施することが不可能な ものが存在する.このため,設計初期段階から事故事象を数 式モデル化し,そのモデルを使ってダイナミックシミュレー ションによる設計検証を行っている.その結果をレビューし, 再度数式モデルを改良する繰り返しを長年にわたり行ってき た結果,原子力発電プラントの設計想定事故事象を含む大半 の振る舞いを表現するシミュレーション技術が確立してい る.

一方,原子力発電所の運転員には,プラント起動停止等の 通常運転をミス無く行うことは勿論のこと,万一事故が発生 した場合にも慌てることなく,速やかにプラントを安全な停 止状態に移行させることが要求されているため,その訓練設 備が必要となる.

そこで,当社では,プラントシミュレーションモデルと模擬中央操作盤とを組み合わせ,実機プラントと全く同等のプラント監視,運転操作がリアルタイムで行える運転訓練シミュレータを製品として提供している.

ダイナミックシミュレーションを運転訓練に適用する上で の一番大きなポイントは計算のリアルタイム性である.リア ルタイム性とは,実事象と同じ速度で計算が進むということ である.一方,リアルタイム性を追求するあまり,実機プラ ントの応答から乖離(かいり)すると運転訓練の本質を損な う.運転訓練シミュレータに適用する上で重要な点は,モデ ルの解析精度とリアルタイム性の確保である.

当社は、加圧水炉型原子力発電プラント所有の各電力会社, 原子力運転訓練センター,日本原子力研究所に延べ11機13 プラントの運転訓練シミュレータを納入している.図6は原 子力運転訓練センターに平成14年に納入したフルスケール 運転訓練シミュレータの写真であり,運転員はこの盤に向か いプラントの監視・操作を行う.

また,近年は運転操作だけでなく,プラントダイナミクス そのものの理解を深めるために,実際には見ることのできな い運転中の原子炉内部の温度分布やボイド率の分布を可視化 した機能も追加している.図7は運転中の原子炉内温度分布 を可視化したものである.

さらに, 炉心溶融シミュレーションなど模擬事象の広範囲 化を図り,より高度な運転訓練ニーズに対応できるよう,開 発を進めている.

3.3 石炭焚きボイラのパウルミル

石炭焚きボイラは,一般に石炭の粉砕と乾燥を目的とした 粉砕機を有している.

高微粉度三菱MRS (Mitsubishi Rotary Separator)式バウ ルミルの構造(図8)及び運転原理を以下に述べる⁽⁴⁾. 原炭 は,給炭管(固定式または回転式)からミル駆動用電動機に より回転されるバウル上に投入され遠心力により,バウル外 周部へ移動する.その際にバウルをライニングしているプル リングセグメントとロールの間にかみ込まれ粉砕される.粉 砕された石炭は,熱空気入口ダクトを経てバウル外周部より 流入する熱ガスによりミル上部に運ばれる.この搬送過程に おいて微粉炭は熱ガスにより乾燥される.微粉炭中の粗粉は 重力によりバウル上に落下し再び粉砕される.回転式分級機 を通過した所定の粒度の細粉は,微粉炭流として微粉炭管に 運ばれる.微粉炭管から流出する微粉炭の200メッシュ(74 µm)パス量を一般に代表微粉度として分級性能を評価する.

粉砕機の特徴に,石炭の性状である硬さ(HGI: Hardgrove Grindability Index)や水分率及びAir/Coal(空気 と石炭の重量比)により粉砕性能・時間が変化し分級性能に 特異差が生じることが挙げられる.

粉砕機のダイナミックシミュレータは,石炭性状や粉砕機 の運転情報を入力信号とし,微粉炭管から流出する微粉炭流 量と微粉度をオンラインで推定する.本シミュレータは制御 装置に容易に組み込むことができ,制御装置と同様に,演算 状態のモニタリングやパラメータの調整も容易にできるよう 可視化されている.また,石炭の硬さや水分率も,粉砕機の 運転状態から予測することができる.

図9は実機運転データを入力とした微粉度シミュレーション結果を示したものである.微粉炭量の応答性については, 起動・停止の運転実績などから,シミュレーション結果の妥当性が確認できている.

今後,微粉度予測モデルは,実プラントにおいて運転員の ガイダンス機能の一つとして活用を計画中である.



図6 原子力運転訓練シミュレータ 原子 力運転訓練センターに納入したフルスケ ールシミュレータの全景.



図7 原子炉内温度分布 運転中の原子炉 内の温度分布シミュレーション結果をア ニメーションとして表示.









図 10 ダイレクトドライブ電動射出成形機 350ME ベルトレ ス同期制御を採用した当社の新型機を示す.

3.4 電動射出成形機

自動車部品,家電製品等向けの大型射出成形機を取り巻く 事業環境は厳しく,経営的課題としてコスト低減及び多彩な 成形ニーズに即座に対応できる機動力が要求されている.

一方で小型成形機に広まった電動化の波は大型成形機にも 押し寄せ,高応答性をいかした最新制御手法の適用や新機構 の採用など検討事項は多岐にわたる.

このような状況に対応するため,当社では射出成形機の動 特性を詳細に数式化した設計支援用シミュレータを保有し, さまざまな検討事項に対して即座に結果を提供している.

ー例として,当社が平成15年8月に販売を開始した 350ME機(図10)において実施した,ベルトレス同期制御 のシミュレーション検討を紹介する.

従来製品における射出機構は2つのモータをベルトでつな いで機械的に同期を取ることで両モータの位置ずれを抑制 し,機器の破損を防いでいた.本製品では同期ベルトの排除 による機器の省スペース化及びコストダウンをねらって同期 制御を採用した.検証試験結果を図11に示す.試験では機 械的フェールセーフとなるべき同期ベルトを外して性能検証 するため機器破損の危険性を伴うが,シミュレーションによ り事前に位置ずれ抑制の目処をつけられたため,トラブルの 未然防止ができ,同期制御を実用化できた.さらに,実機で は状況を作り出すことが難しい機器故障時のフェールセーフ 検討も容易に実施でき,機器の安全性と品質向上に貢献して いる.



図11 同期制御による2モータの相対位置ずれ抑制性能 モータ 回転数(射出速度)に対する2つの射出駆動用モータの相対位置 ずれを示す.

本シミュレータは,現在,大型新機種開発の設計支援や新 制御法の開発に活用されている.

4.ま と め

本報では, IVRの取組みとして製品開発を対象にマルチボ ディダイナミクスとダイナミックシミュレーションの適用例 を紹介した.

今後ますます,製品開発の加速への要求が高まる中,多様 な製品開発の要所要所にシミュレーションを活用し試作品の 製作と試験期間を短縮することで,お客様のニーズを満足す る製品をいち早く提供していく所存である.

🗞 考 文 献

- (1) William E Bigot, The Validation of Virtual Prototypes via Physical and Virtual Tests, ADAMS User Conference 2002
- (2)自動車技術会編,自動車技術ハンドブック(1992)
- (3) M. Gipser, ADAMS/Ftire A Tire Model for Ride & Durability Simulations, ADAMS User Conference 2000
- (4) 國本ほか,高性能三菱 CEバウルミルの開発,三菱重 工技報 Vol.22 No.5 (1985) p.672



三菱重工技報 Vol.40 No.6(2003-11)