

## IF - 2

# サステナブル生産を目指した実仮想融合型生産管理手法 の提案とその有効性評価

神戸大学 名誉教授

藤井 進

- 背景

- グローバルで持続可能な地球環境を実現するためには、サステナビリティへの取組みが重要
- システムシミュレーション技術や最適化技術などを駆使した適切な生産管理手法に関する新しい方法論を実現することが、サステナビリティに対する重要な課題

- 目的

- 大規模・グローバルな生産環境下にて無駄の徹底排除によるサステナブル生産を目指した実仮想融合型生産管理手法の提案とその有効性の検証

- 実施体制

- リーダー

- 貝原 俊也 (神戸大学)
    - 藤井 進 (上智大学)

- 参加者

- 倉橋 正志 (オムロン)
    - 梅田 豊裕 (神戸製鋼所)
    - 堀 栄一 (コマツ)
    - 大石 重雄 (ジェイテクト)
    - 谷岡 雄一 (清水建設)
    - 二宮 和之 (IHI)
    - 村木 俊之 (ヤマザキマザック)

## 実施内容の概要

- 概要

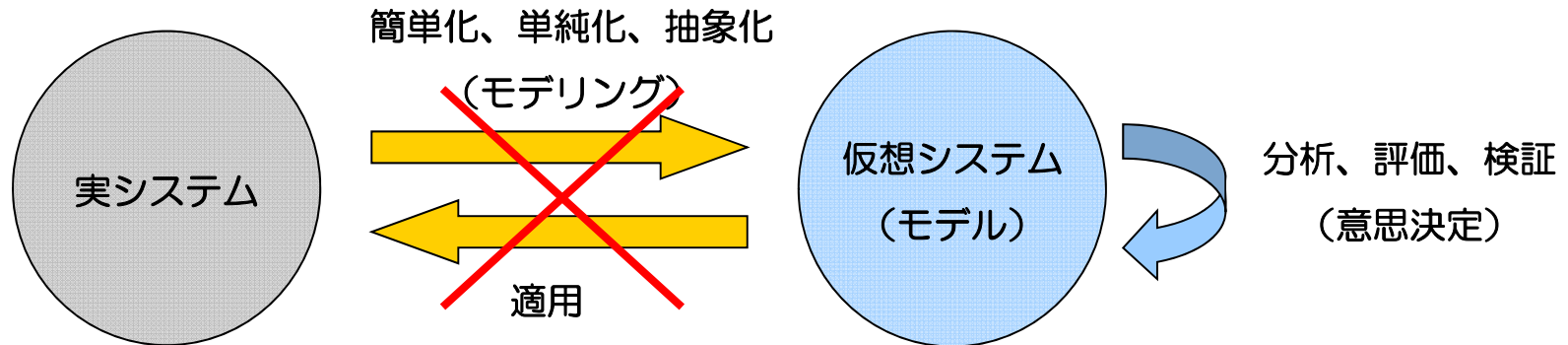
- 実仮想融合型生産管理手法の実現に向けた産業界からのニーズ調査や仕様の検討
- 実生産ラインに利用されているハードウェアやソフトウェアの調査

- 会議開催

- 第一回：2011年 6月16日 清水建設 技術研究所
- 第二回：2011年 9月 1日 オムロン 綾部工場
- 第三回：2011年11月17日 ヤマザキマザック美濃加茂製作所  
ヤマザキマザック オプトニクス  
フェニックス研究所
- 第四回：2012年 1月19日 IHI 愛知工場
- 第五回：2012年 3月 7日 神戸大学 大学院システム情報学研究科

## 実仮想融合型生産システムに関する コンセプトメイキング

## 研究背景



仮想システムによる意思決定は、生産現場においても計画・設計の段階で評価や改善に有効

### 運用段階での利用は限定的

- 現実システムには様々な不確定要素があり、仮想システムのみでは表現が困難な部分も存在
- 仮想システムでは事前に単純化した変動しか表現できず、実システムの動的な変化（需要変動や機械故障など）に対する適応性は有していないため、時間の経過とともに仮想モデルが利用されなくなり、実システムの正確な反映は困難
- 対象問題の大規模化、複雑性化にともない仮想モデル構築あるいは修正に膨大な時間が必要

↓

仮想システムと実システムの間乖離が発生

↓

運用段階において、実システムと仮想システムとの連携の可能性を追究

## 研究目的

実生産システムと仮想システムを融合させ、生産現場を取り巻く様々な変動要素に対し即応性と効率性を有する**実仮想融合型生産システム**の構築を目指す。



実現手段

仮想システムのモデリング技術として、**マルチエージェントシステム**の概念を取り入れる。

- 仮想システムの動的生成

- 時間的決定：生成のタイミング
- 空間的決定：生成の範囲

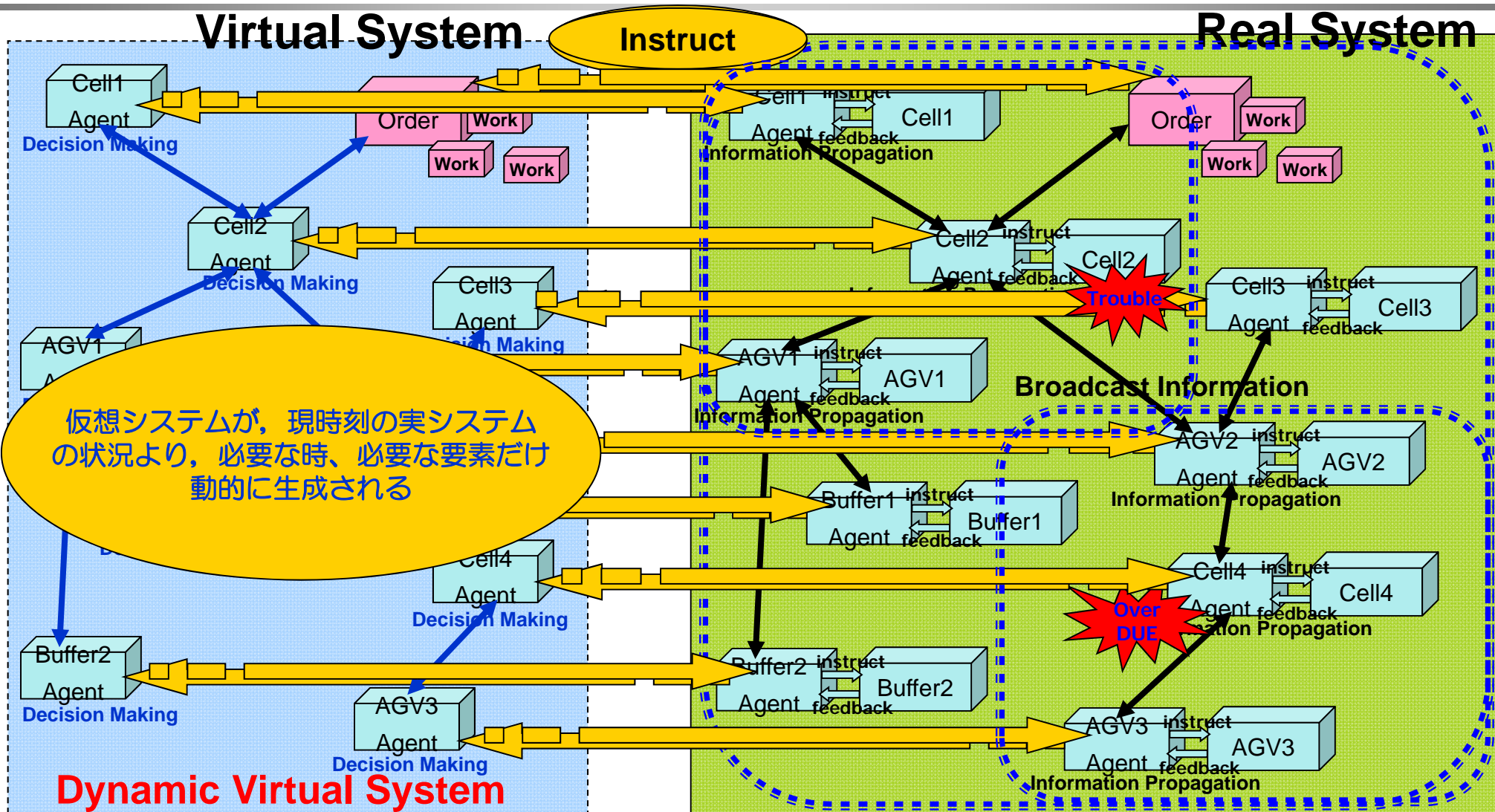
## 情報伝播による仮想システムの動的生成

- (現状) エージェント間の情報のやりとりによる予測
- (将来) 超分散シミュレーションによる予測

- 仮想システムにおける意思決定

- 最適性と適応性のバランスをとる組合せオークション手法
- 意思決定の対象：生産スケジューリング





- 計画段階（最適性）
  - システム**全要素**を考慮
    - **ブロードキャスト通信**によりシステムの全要素が仮想システムを生成
- 運用段階（最適性と適応性）
  - システム**一部のみ**を考慮
    - **情報伝播**による影響範囲の決定
      - 情報伝播により，加工遅延による納期遅れの予測や機械故障情報が生産システム要素の間に伝播
      - 必要性
        - › 既に決められたスケジュールの変更を行う際に，各作業間に先行関係が存在するため，他の機械が行う作業の処理時刻との整合性を保証することが必要
        - › 変更を行う際に，機械独自の判断に基づくのではシステム全体の状態を常に改善できるとは限らないため，各機械はそれぞれ自分が行った変更によりシステム全体のスケジュールに生じる影響を定量的評価必要

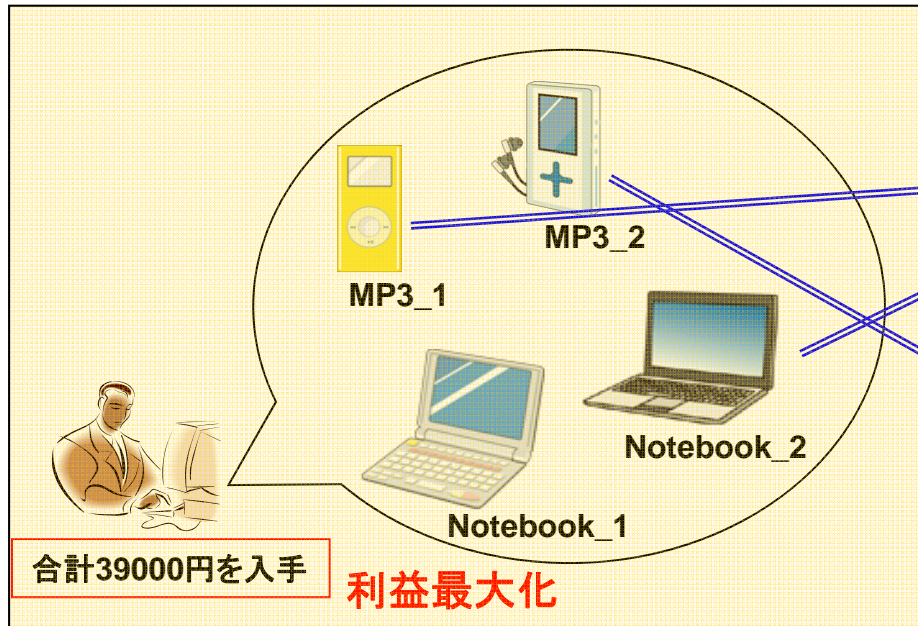
- 組合せオークション手法※の適用
  - 組合せオークションでは、人間のやりとりを模倣する社会的交渉手法の一つであり、複数の財を一度に競売にかけられる。入札者は個々の財に対して入札するだけでなく、任意の財の組合せに入札することも可能
  - 組合せオークションは財の組合せに対して入札を行うことができるため、依存関係のある財の扱いが可能となる。さらに、補完性、代替性をもつ財を一度のオークションで効率的に配分することができるため、精度の高い解を求めることが期待
  - 組合せオークションは一般的に計画段階で使用されることが多いが、運用段階においても適切にパラメータ（入札回数、効用の閾値）を調整することによって、迅速性と最適性のバランスを取ることが可能

※ 貝原俊也, 藤井進, 三浦克仁, 生産スケジューリング問題に対する組合せオークションを用いた最適化手法に関する一提案, 日本機械学会論文誌(C編), 75巻, 752号, pp.1143-1150, 2009.4.

## 組合せオークション手法

- 組合せオークションは人間のやりとりを模倣する社会的交渉手法の一つ。財の組合せを競売にかけられるため、依存関係（補完性、代替性）をもつ財を一度のオークションで効率的に配分することが可能。
- 入札決定問題（BDP）：入札者が財を選択し入札を作成すること
  - 全入札：財の全ての組合せで入札を行う（大規模問題では組合せ数が爆発に増大）
  - 部分入札：財の一部の組合せで入札を行う（閾値制約や局所探索が有効な手段）
- 勝者決定問題（WDP）：全ての入札値に対し効率よく落札者を決定すること

### 勝者決定問題

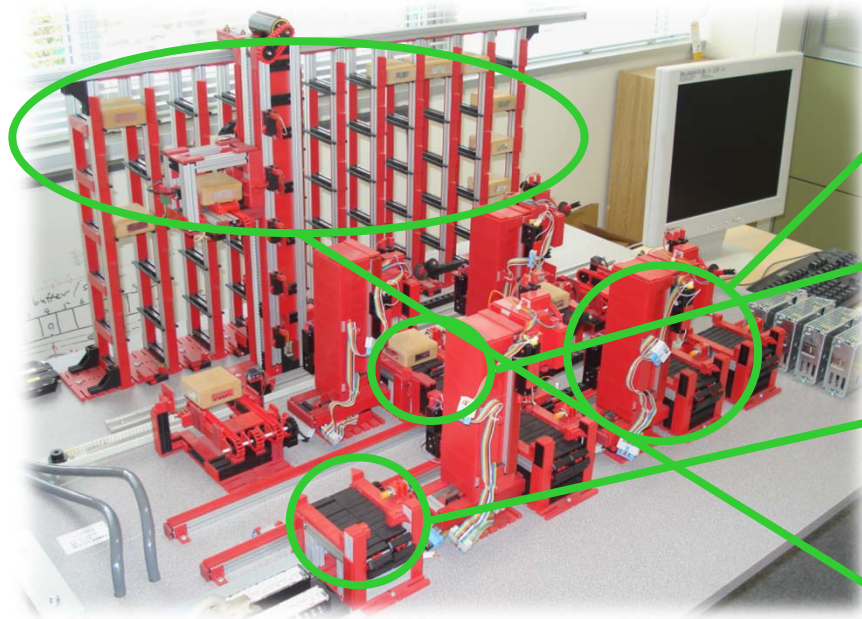


### 入札決定問題



## モデルプラントシステム

- ・ 実工場とほぼ同等のセンサ・アクチュエータ・制御系を有する。
- ・ モデルプラントを用いることで、生産進捗状況が見えるようになるだけでなく、よりリアルに物理空間の変動要素を表現可能



加工ミリングマシン 4台  
(いずれも3つの加工用ツールを保有)



移動コンベア 1台  
(加工物を搬送)

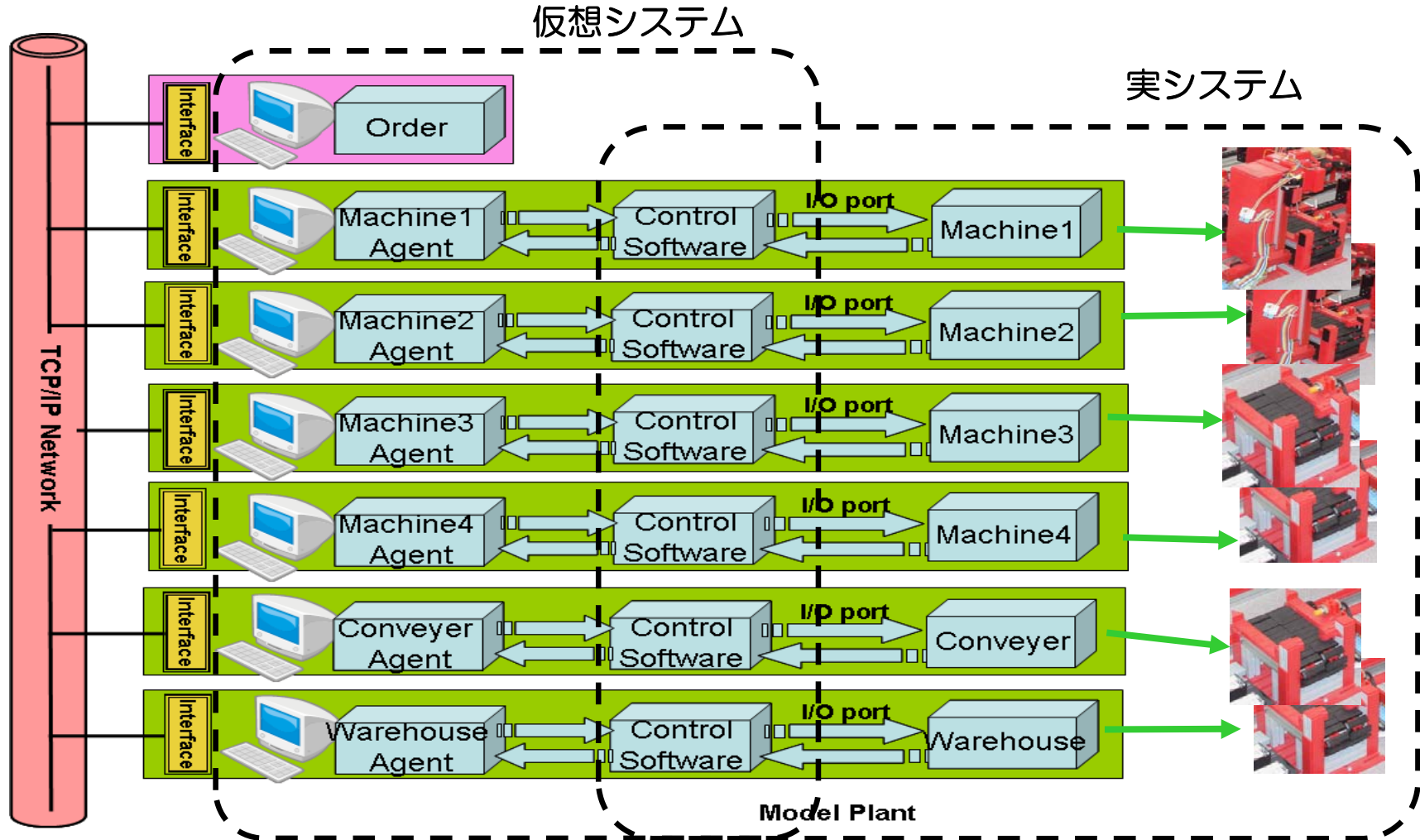


バッファコンベア 2台



自動倉庫1台  
(格納箇所50、出庫及び入庫ステーションを保有)

# モデルプラントを用いた 実仮想融合生産システムの構成



## 実仮想融合型生産システムに関する 実用化に向けた調査

- A社

- グローバル販生における意思決定支援システム
  - 客先～営業～会議体～本社～工場における意思決定をシームレスに統合しシミュレーションにより計画の精度を向上させる
- 管理系からのオーダーに対し，工場内の効率的な生産計画を実仮想融合型のシミュレーション機能により自律分散的に策定

- B社

- 大型建造物の生産計画（プロジェクトスケジューリング）において迅速な作業実績に収集とシミュレーションを用いた最適生産計画立案，クリティカルチェーンの見える化
- 日々の状況変化に迅速に対応した最適な置き場計画の立案
- エンジン修理部品の作業優先順序計画の策定



## ・ C社

- 機械工場を想定し、ネック工程である組立工程(後工程)納期に完全に合わせるための、材料手配～日程計画作成～内作加工工程・検査(前工程)のスケジュール作成。なお設備数200台、オーダー数は2,000個と大規模システム
- 一部、外注加工における日程計画も対象範囲
- 「仮想」に存在する意思決定者が実の意思決定者と協調しながら非定常状態に対するリスケジュールリングを実施
- 調整項目例として、特急オーダー、納期遅れ、装置稼働率低下、など
- 課題：「実」の中に意思決定者(人)を含める必要あり

## ・ D社

- 生産・物流・ITシステムなどが対象
- システム新規導入時や更新時におけるエンジニアリングプロセス (EP)について、実仮想融合型システムの概念を導入することで、計画時間の短縮や精度の向上を狙う
- 環境側面について、生産性ととともにエネルギー効率性を目的関数としたエージェント間交渉による最適化を実施し、サステナブル生産システムの実現へとつなげる

## ・ E社

- 海外工場の生産ラインに対する迅速で適切な運用管理に適用可能
- 生産設備の状況を監視しながら予測ベースの運用管理に適用可能
- 新規ラインの迅速な立ち上げ
- グローバル生産における製品在庫の最小化

### まとめ

- 実仮想融合型生産システム内に実装される計画段階の生産スケジューリング機能実現の方法論を提案
- 実仮想融合型生産システムの適用可能な分野や業務について調査を行い実用化に向けた対象領域の整理・体系化を実施

### 今後の課題

- 整理・体系化に基づいた新たな定式化や機能拡張
- 複雑・大規模問題への適用