

システム環境情報学特論

Informatics for Systems and Environment

2009年度

システムの仮想化・デジタル化

北海道大学大学院情報科学研究科

システム情報科学専攻

担当 小野里雅彦



Virtualの氾濫



力学・光学

Virtual Work
Virtual Displacement
Virtual Image

情報処理

Virtual Machine
Virtual Memory

感覚

Virtual Reality

生産

Virtual Factory
Virtual Manufacturing

経済

Virtual Shopping
Virtual Store

組織

Virtual Team
Virtual Enterprise
Virtual Corporation

芸能

Virtual Actor
Virtual Idol

Virtualと仮想

virtual

1. *being such in power, force, or effect, though not actually or expressly such*
2. *temporarily simulated or extended by computer software*

(Random House Unabridged Dictionary 2nd Ed.)

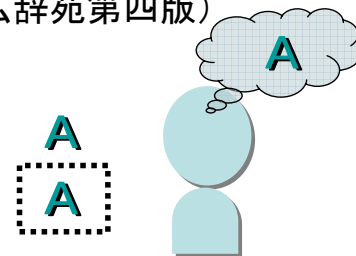
【仮想】

仮に考えること. 仮に想定すること.

(広辞苑第四版)

➡ "virtual"は架空ではなく、機能的
実効性を有する

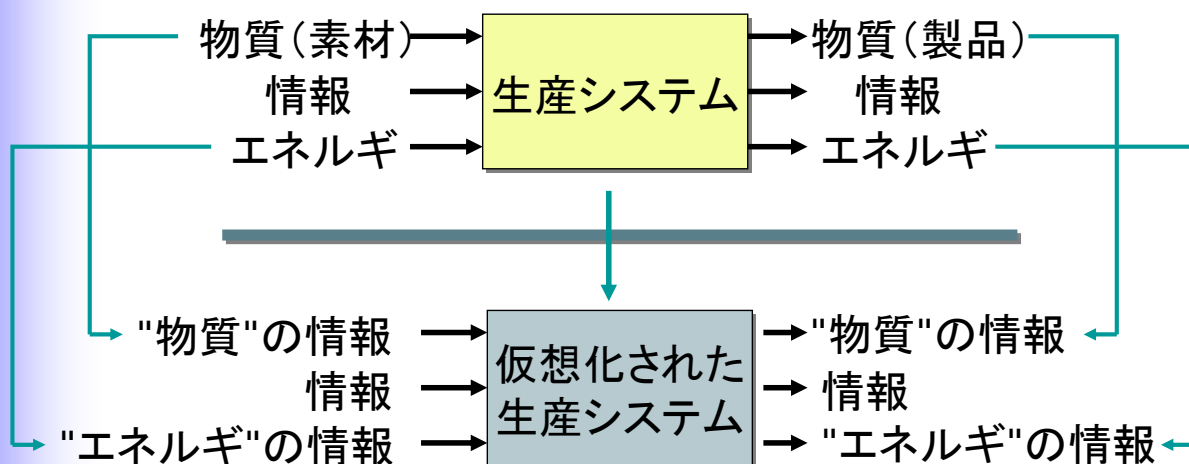
・・・英語と日本語の違い



3

生産システムにおけるVirtualとは？

- 生産というRealな営みにおいてVirtualとはどう考えるか？



- 情報面における"等価性"によりVirtualと考える.

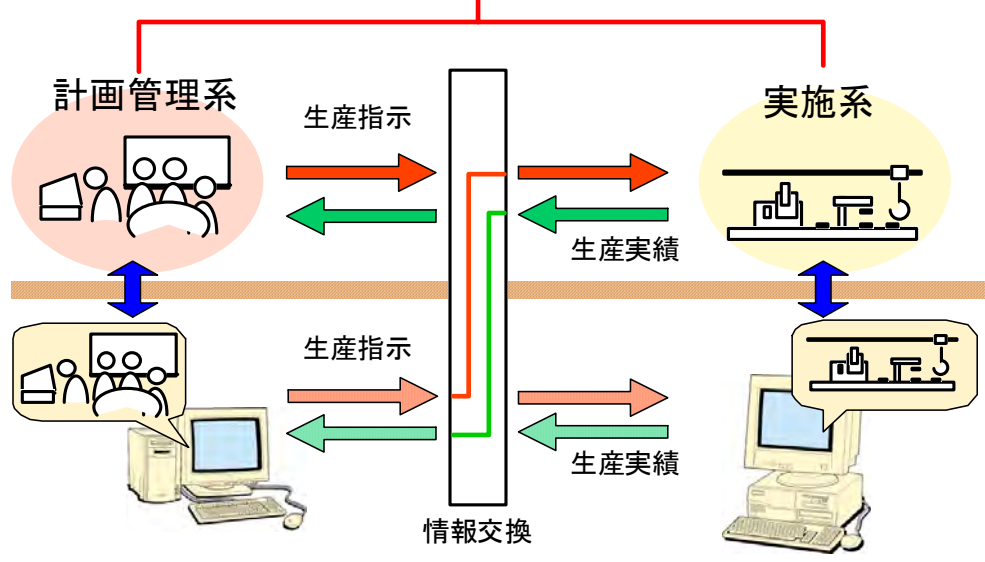
4

情報等価性と生産システムの仮想化

■ 人工知能におけるチューリング(Turing)テスト

→人間の知能と人工知能との情報面での等価性をテスト

生産システム(工場)



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

実システムと仮想システムとの組み合わせ

■ 物理／論理それぞれに実と仮想を想定すること

製造	計画・管理	
		→ 実生産システム
		→ 仮想ショップフロア
		→ 仮想管理組織 (仮想工場)
		→ 仮想生産システム
物理システム	論理システム	

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

生産システムの「仮想化」の2つの方向

現在、国内で「仮想生産」「仮想工場」と称されているもの

- コンピュータ・シミュレーション派
生産に関わるコンピュータ・モデルを構築し、それを用いてコンピュータ・シミュレーションを行う。

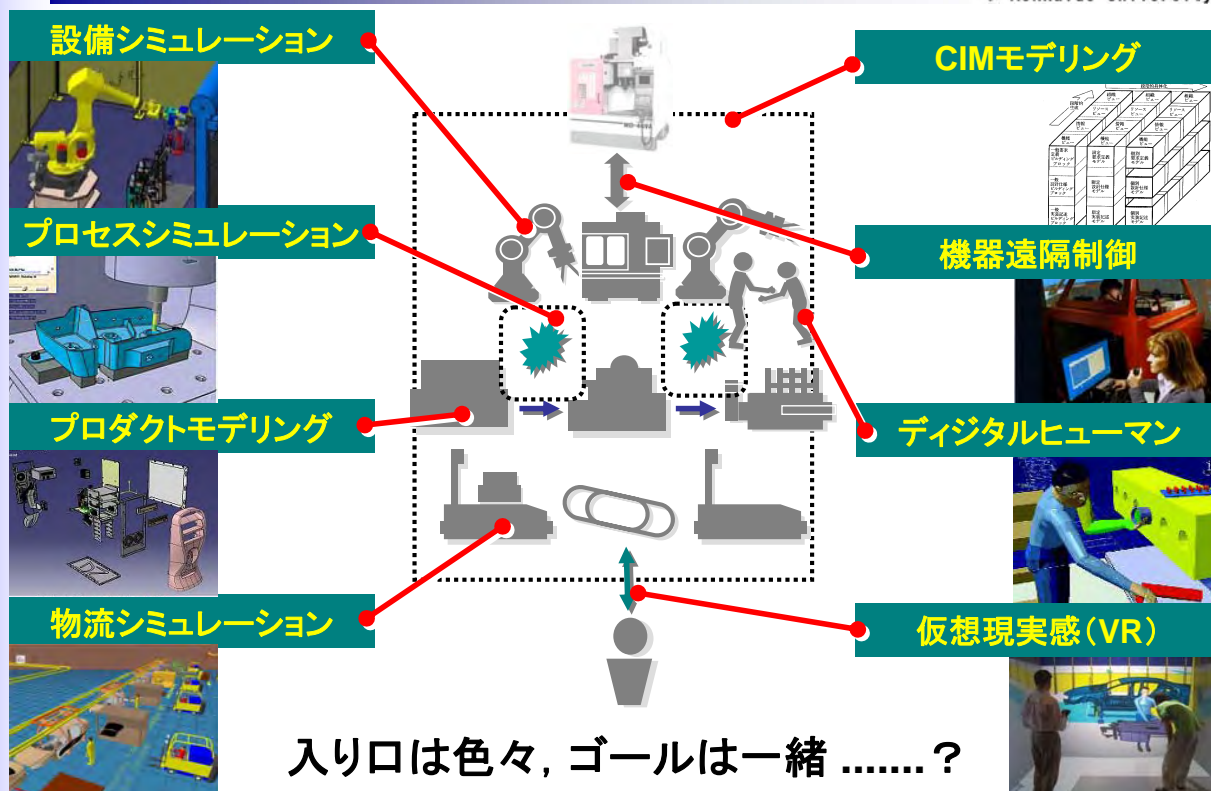
生産設備: **仮想** 工場組織: **仮想** 生産物: **仮想**

- テレ・マニファクチャリング派
地理的に分散した生産設備をコンピュータネットワークで結合し、統合的に管理・運用するもの。

生産設備: **実在** 工場組織: **仮想** 生産物: **実在**

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

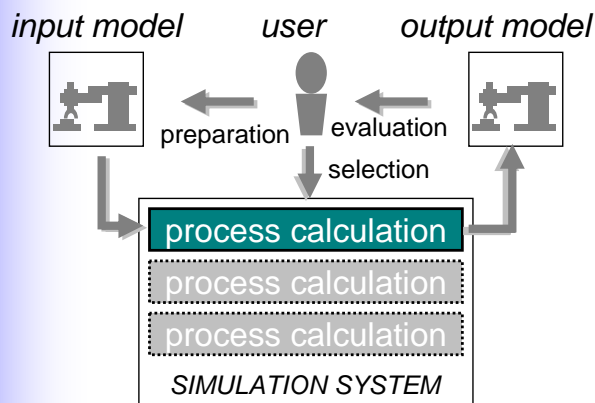
仮想生産へのアプローチ



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

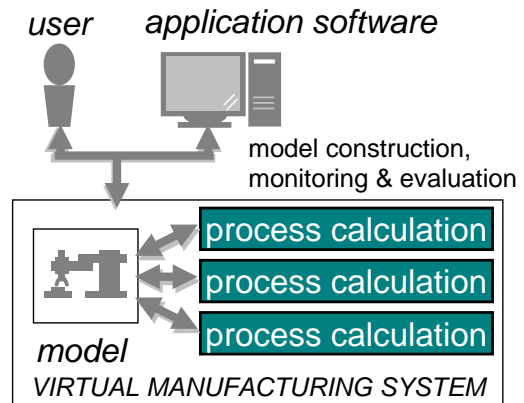
仮想生産システムとシミュレータ

シミュレーションシステム



- ✓ モデルは出力を得る手段
- ✓ 人間が構築・選択・評価
- ✓ プロセスの計算過程は適宜選択

仮想生産システム



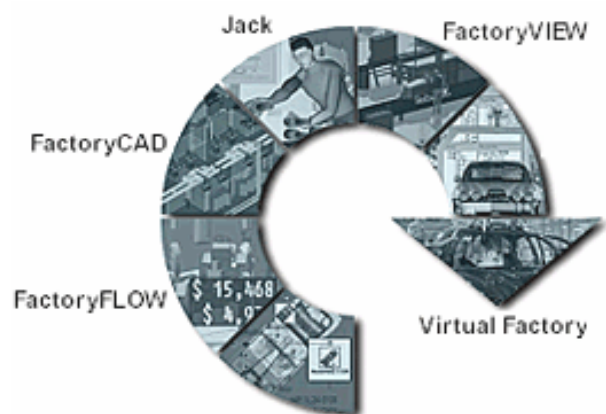
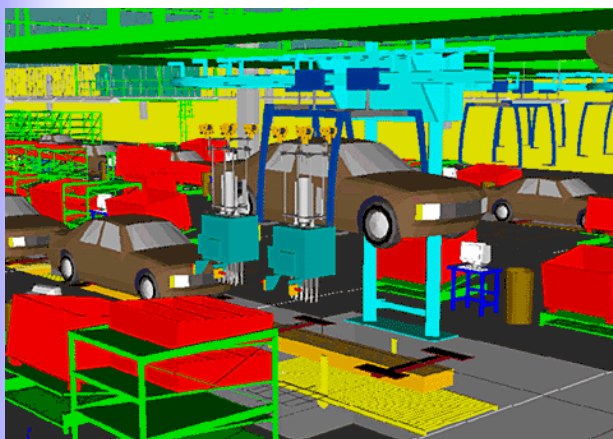
- ✓ モデルの状態が随時更新
- ✓ 人間は基本ループの外から関与
- ✓ プロセスの計算過程は並列実行

モデルの汎用性・継続性・自立性を強く意識・追求

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

商用ソフトウェアの例: EDS

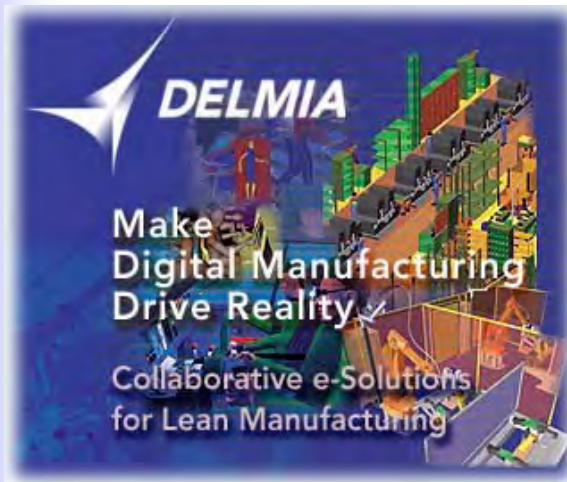
- 離散事象系のシミュレーションを実行するための周辺ソフトウェア群を整備



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

商用ソフトウェアの例: DELMIA

- ロボットのシミュレータのIGRIP, 物流シミュレータのQUESTを核に総合的なシミュレーション環境を提供



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

物流シミュレータ QUEST

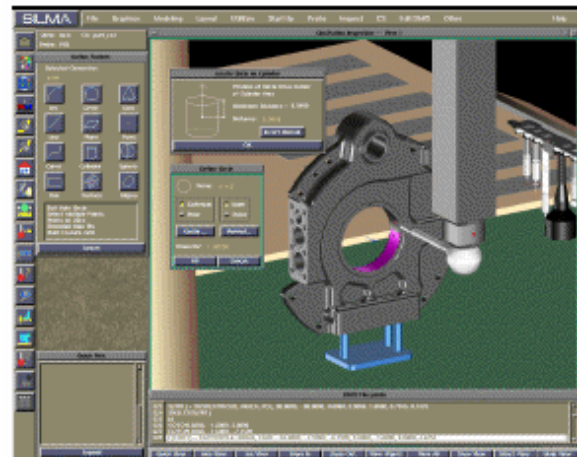
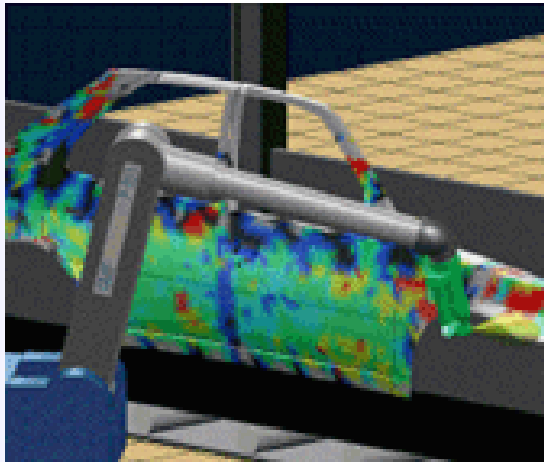
物流シミュレータ DELMIA QUESTの例



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

商用ソフトウェアの例: SILMA (Adept)

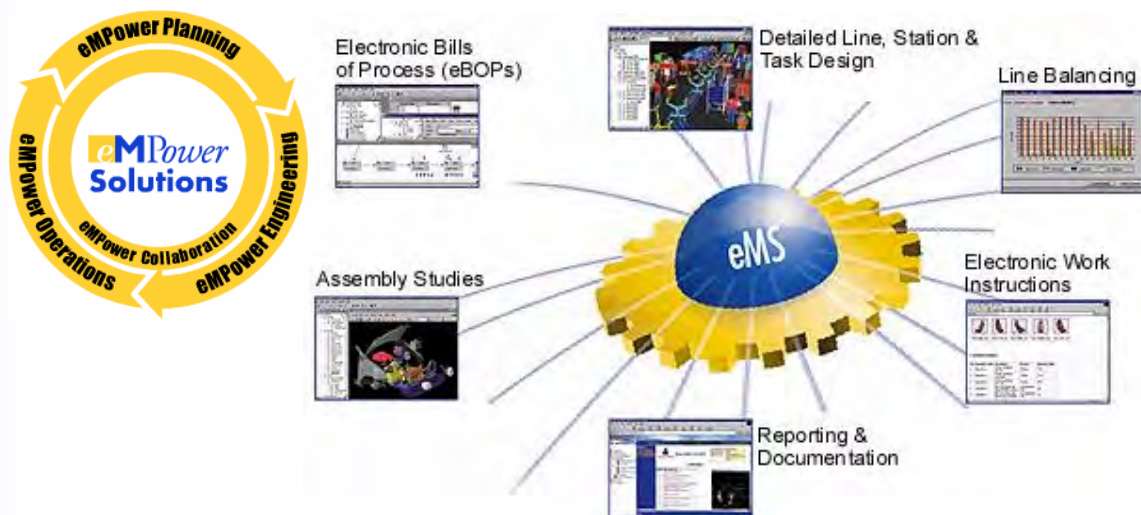
- CimStationシリーズを販売. 主にロボット & 3次元測定機を中心としたセルレベルのプロセスシミュレーションに展開.



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

商用ソフトウェアの例: tecnomatix

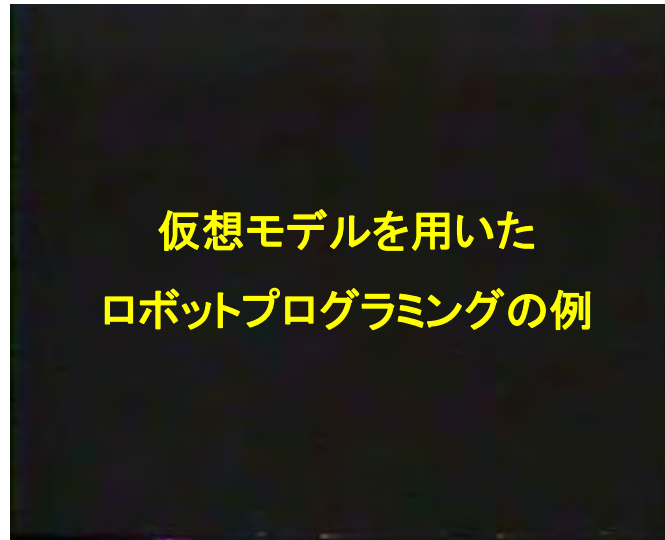
- ロボットシミュレータのROBCAD, 離散系シミュレータのSimple++を開発, 販売. 最近は, eMPowerの名称でのソリューション提供で展開.



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

実と仮想の連携例

米国 サンディア国立研究所でのロボットプログラミングの例



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

生産シミュレーションの展開

情報処理能力の飛躍的向上とモデル蓄積の段階的進行



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

仮想生産構築へのアプローチ

■ 仮想生産実現における3つの等価性

● 構造等価性

構成要素やそれらの間の相互関係が実物ー仮想物で対応つくこと

● 挙動等価性

物理的制約を満たす挙動が実システムと同様に生成できること

● 情報等価性

実生産において生成される情報と同等な情報を生成できること

仮想生産構築における規範

仮想生産を実現するには以下のことに留意

● 論理システムと物理システムとの分離

論理システムと物理システムとでは支配している原理が違う。論理システムの意図した通りに物理システムが動作する保証はないし、物理システムの振る舞いがそのまま論理システムに反映される訳ではない。

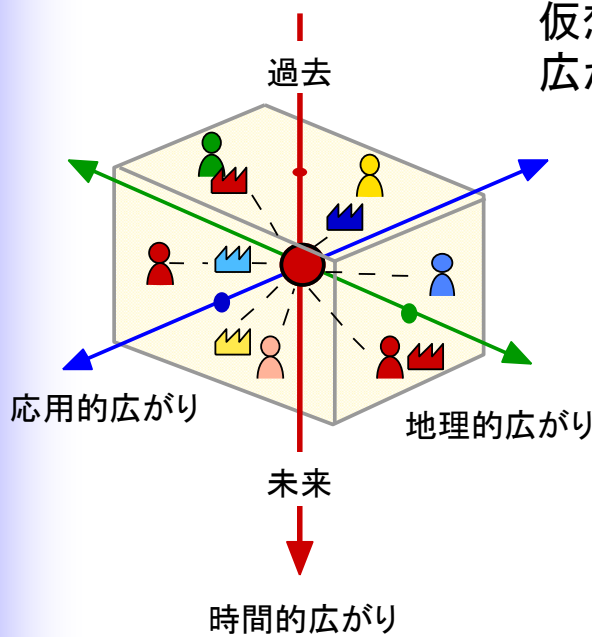
● 要求と結果との分離

～したい、ということ(要求事項)と、結果として現れる～となった(結果)とを区別する。例えば、ロボットへのgraspという要求と、実際の対象のgraspとは違う。

● synthesisとanalysisの分離

設計や計画と、それに対する分析とを区別。たとえば、最適化の過程とシミュレーションの過程を混在しない。

仮想生産に期待されていること



仮想生産は生産情報の持つ3つの広がり統合する可能性を持つ。

時間的統合

過去—現在—未来

地理的統合

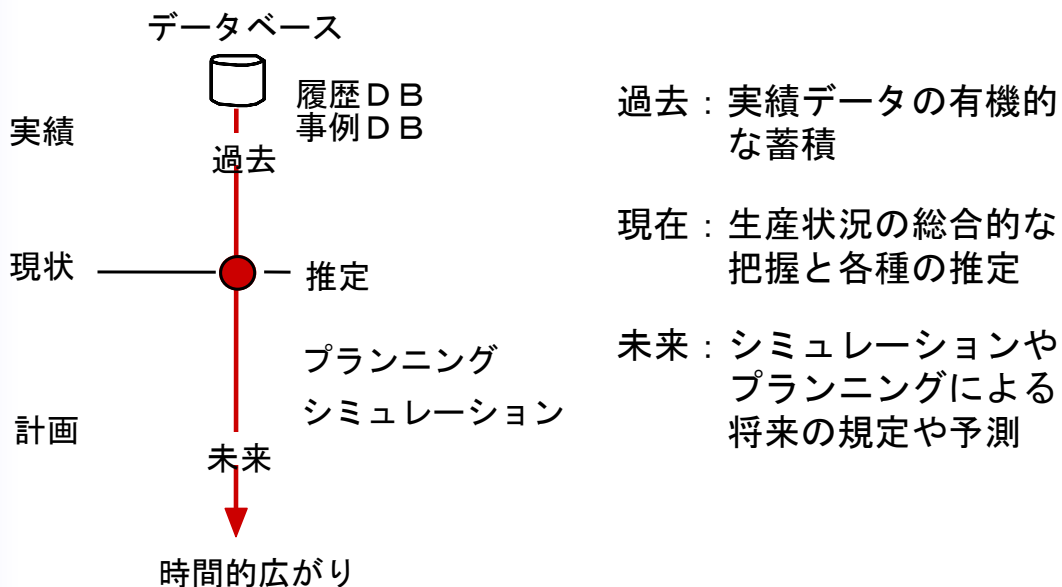
工場—国内—世界

応用的統合

設計—運用—経営...

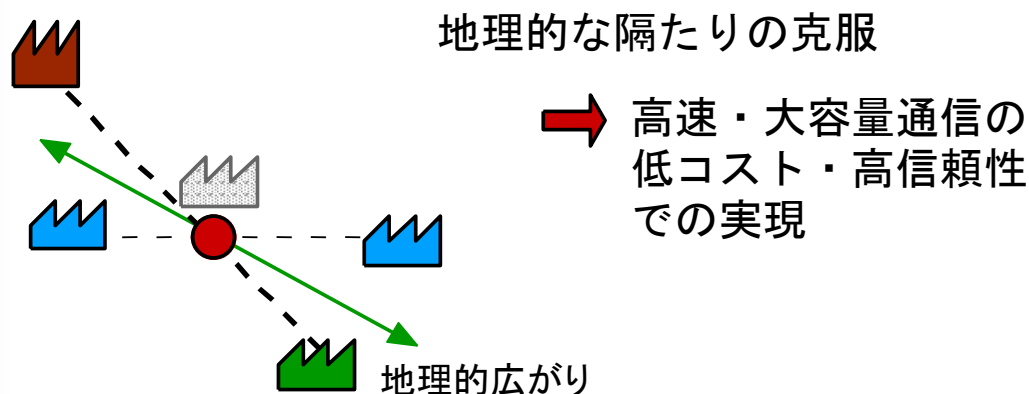
仮想生産による時間的統合

★ 仮想生産は生産活動の過去—現在—未来に関する情報を一元的に保持する概念的な枠組みを提供する



仮想生産による地理的統合

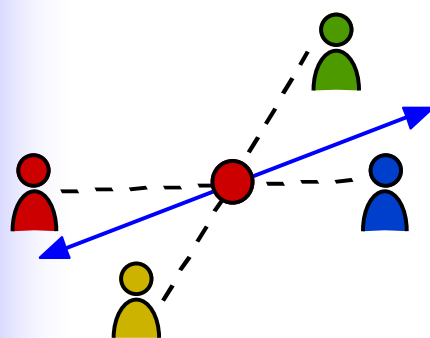
- 仮想生産は地理的に離れた生産拠点を統合して仮想的な場所に集結した工場を実現できる。



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

仮想生産と応用的統合

- 仮想生産が生産に関わる共通の情報基盤を提供することにより、異なる応用間でのデータの交換や協調した意思決定を支援し、応用の統合をはかることが可能となる。



応用的広がり

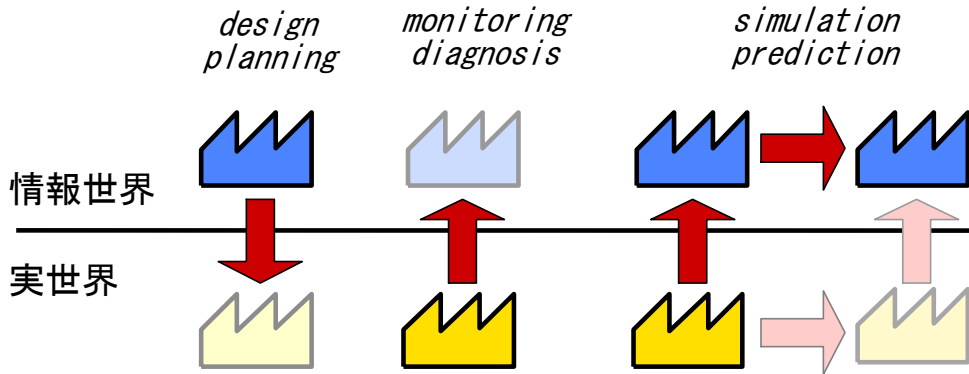
- 製品設計: 製造可能性, コスト評価, ...
- 設備設計: レイアウト, 能力評価, ...
- 生産管理: 日程計画, 設備制御, ...
- 設備管理: 劣化予測, 保全訓練, ...
- 販売経営: 納期予測, 生産性評価, ...

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

仮想生産の利用

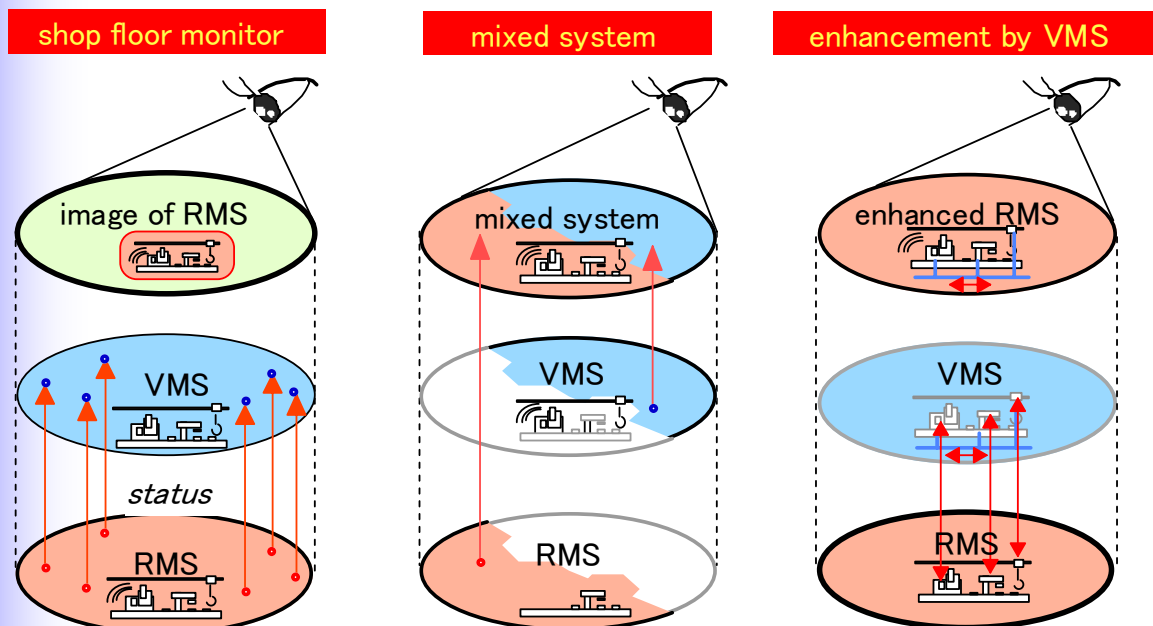
■ 仮想生産の実現により得られる利点とは？

➡ 大規模で多様, 複雑, かつ時間変化をする生産システムを, 第一次近似として情報世界で明確に [規定 | 推定 | 予測] できること.



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

実システムと仮想システムの混合形態



RMS: real manufacturing system

VMS: virtual manufacturing system

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

仮想生産システムのニーズ／シーズ

【準備】

- 生産設備の3次元形状 ➤ 3D-CAD設計／3D Ware house
- 生産設備の機構モデル構築 ➤ 機構のデータモデル標準
- 動的機械の挙動定義 ➤ StateChart
- 設備レイアウト ➤ 3次元レーザ計測＋対象認識

【実行】

- 多数の要素の物理状態計算 ➤ 物理エンジン(ex. PhysX) 
- 計算の高速化・大規模化 ➤ GPGPU, クラウドコンピューティング
- 多様なリソースの利用 ➤ High Level Architecture
- 実機器との混在環境 ➤ ORiN

【利用】

- 直観的な理解 ➤ 大規模なリアルタイムCG, VR
- 多様なシステムとの連携 ➤ データの入出力形式の標準化 (XML)
- 関連部署での共通利用 ➤ 生産システムのLCE
- 技術者教育への利用 ➤ e-Learning, 失敗事例学習

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

仮想ショップフロアの作り方

仮想ショップフロア構築環境 VirtualWorks を例に



VirtualWorksとは？

- 工場のショッフロア(製造設備, 素材, 部品, 製品, 作業員, 情報機器, 建造物など)の汎用的な計算機内モデルである**仮想ショッフロア**を構築し, そこにおける製造活動での各要素の振る舞いを総合的にシミュレーションするためのソフトウェア・システム

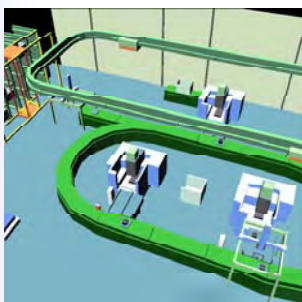
対象範囲内

機器の配置
機器の構造
機器動作の計算
不具合の検出
スケジュールの実行

対象範囲外

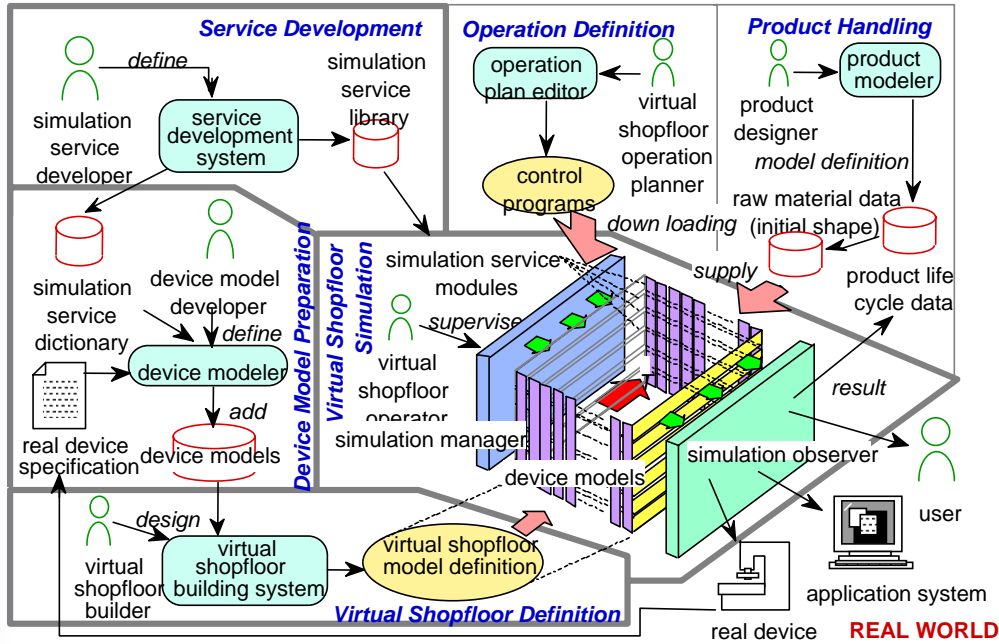
機器の自動配置
機械構造の設計
機器動作の導出
不具合の改善
スケジュールの作成

VirtualWorkの特徴



- 3-D Model & CG
形状や配置の詳細な情報利用
- オブジェクト指向
構造等価性の向上
- 時間駆動でのシミュレーション
生じる事象は現状態にのみ依存
- NC機器の自律的動作
自らのプログラムに従い並列動作
- 物理事象のシミュレーション
物理制約の考慮
- 多様なモデル要素
通信データ, 素材, 人間, ...

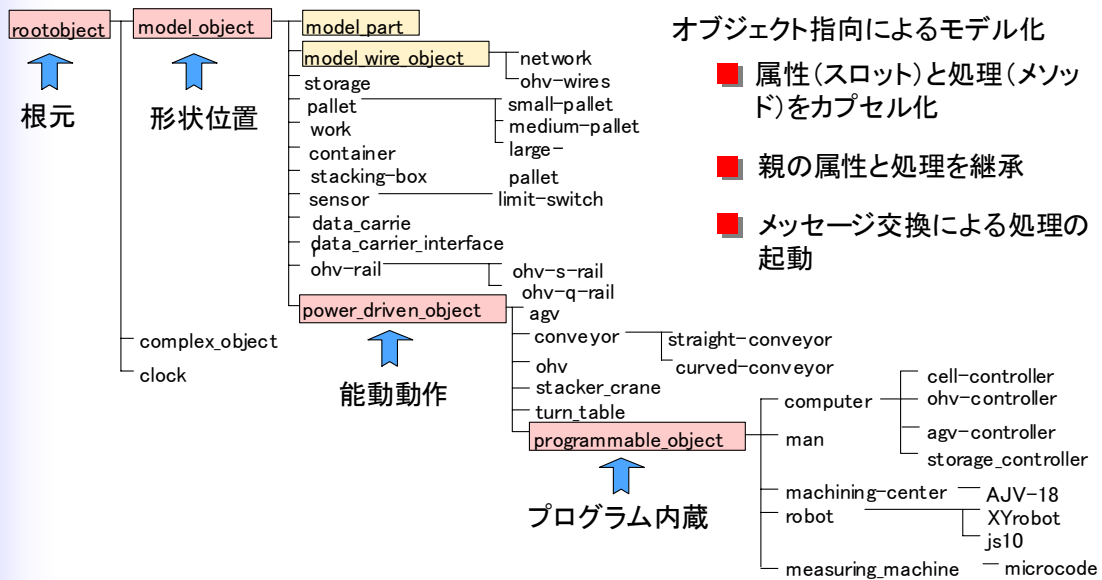
VirtualWorksの研究開発フレームワーク



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

VirtualWorksの機器のモデル化

■ 機器オブジェクトのクラス階層 (一部抜粋)

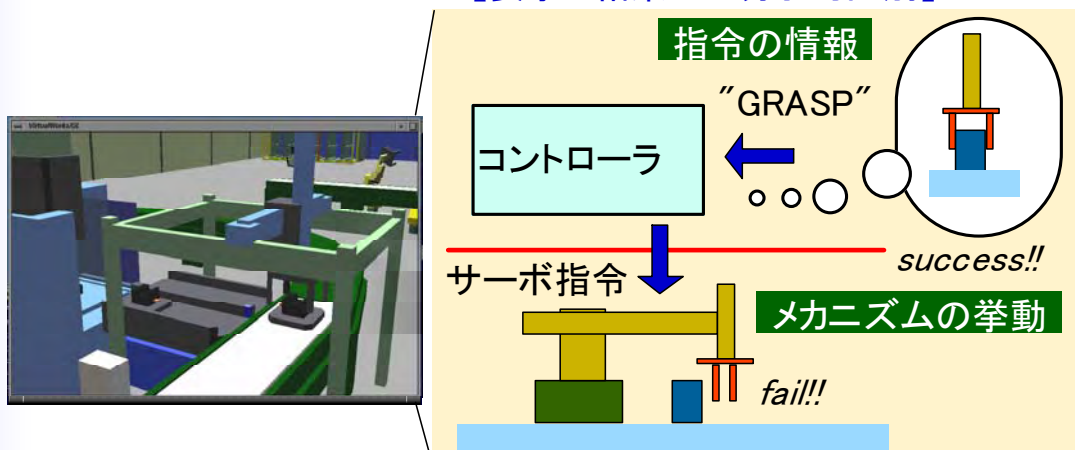


北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

物理／論理, 要求／結果の分離

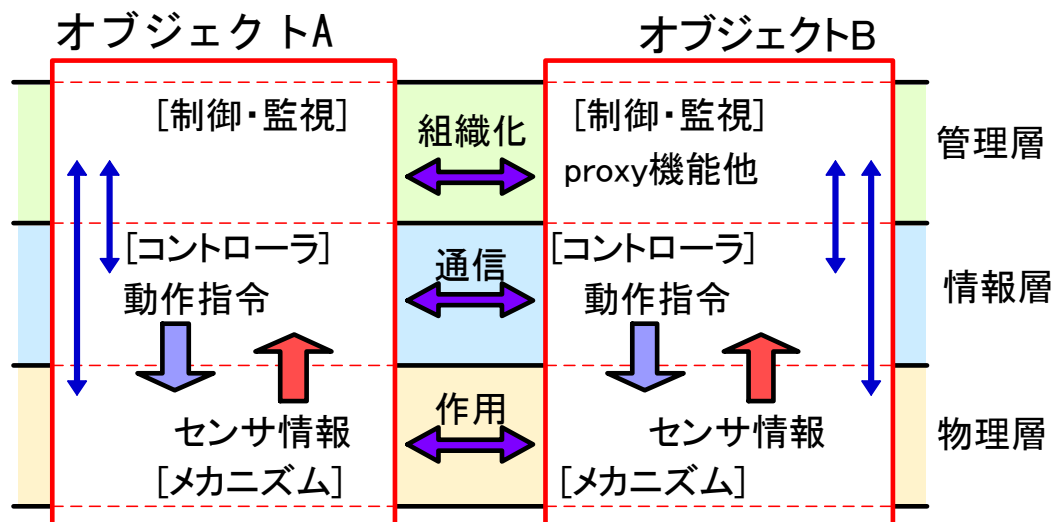
- 機器における情報的な指令とメカニズム等の挙動をモデル化とシミュレーションにおいて明確に分離すること

【要求と結果との明示的区別】



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

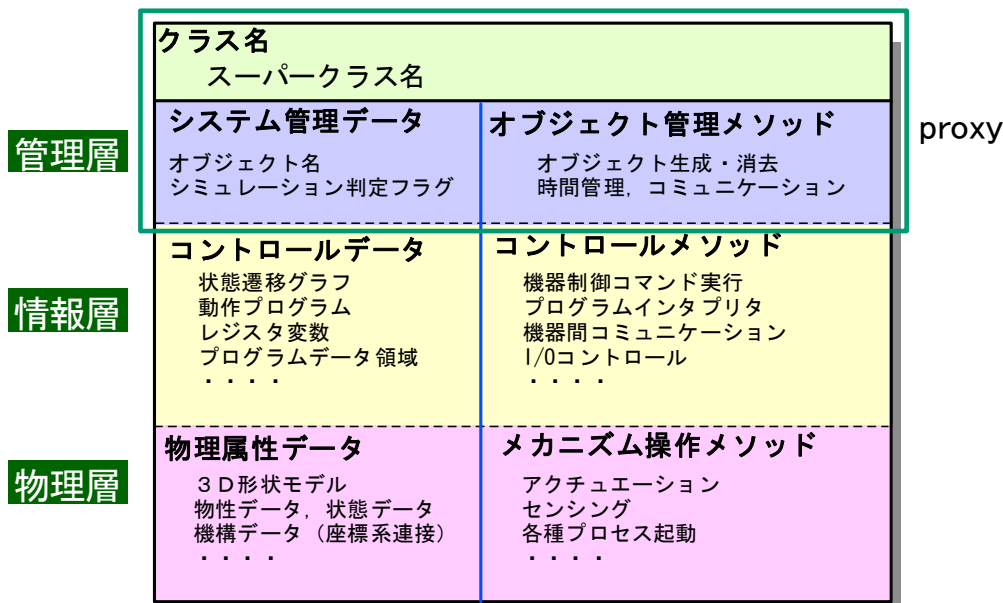
機器オブジェクトへの3階層の導入



➡ 情報層と物理層との間のインタラクションは、実機器に存在するもののみを使うことを原則とする。

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

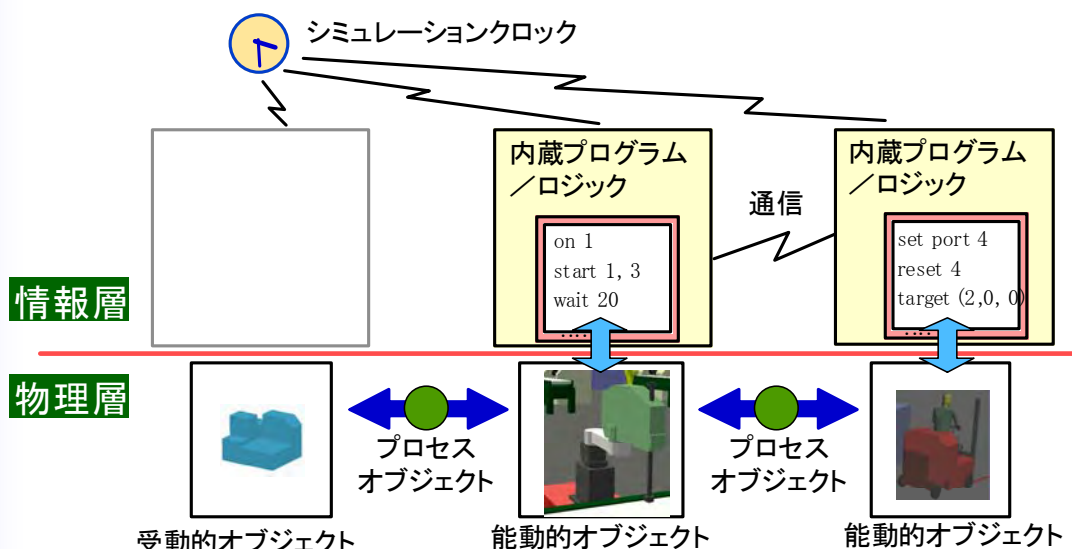
3階層によるクラス実装



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

VirtualWorksにおける状態更新手続き

- Effect Propagation (影響伝播)による状態更新
- 状態取得と状態更新の2phaseによる更新手順

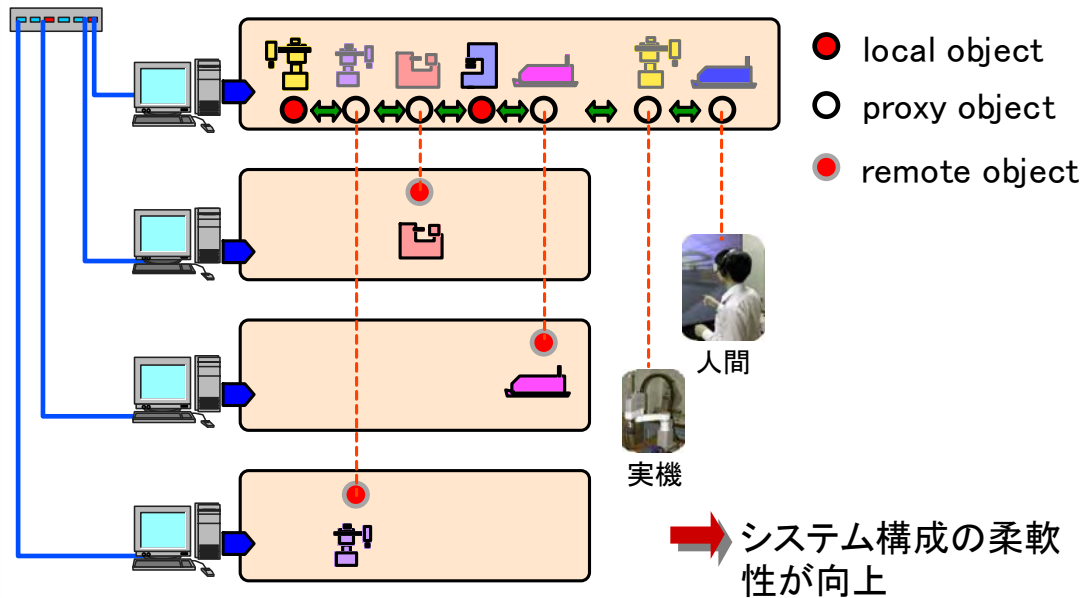


→ 実世界で能動的なものは、仮想世界でも能動的に振る舞う

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

オブジェクトの分散配置

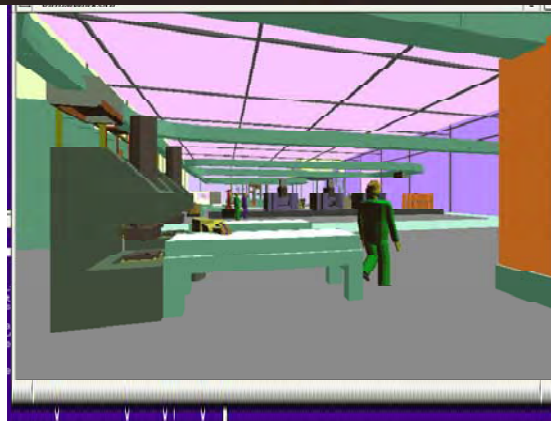
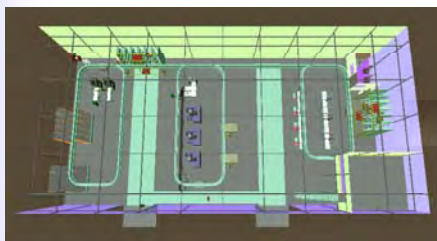
■ ネットワーク上に配置された資源を結合



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

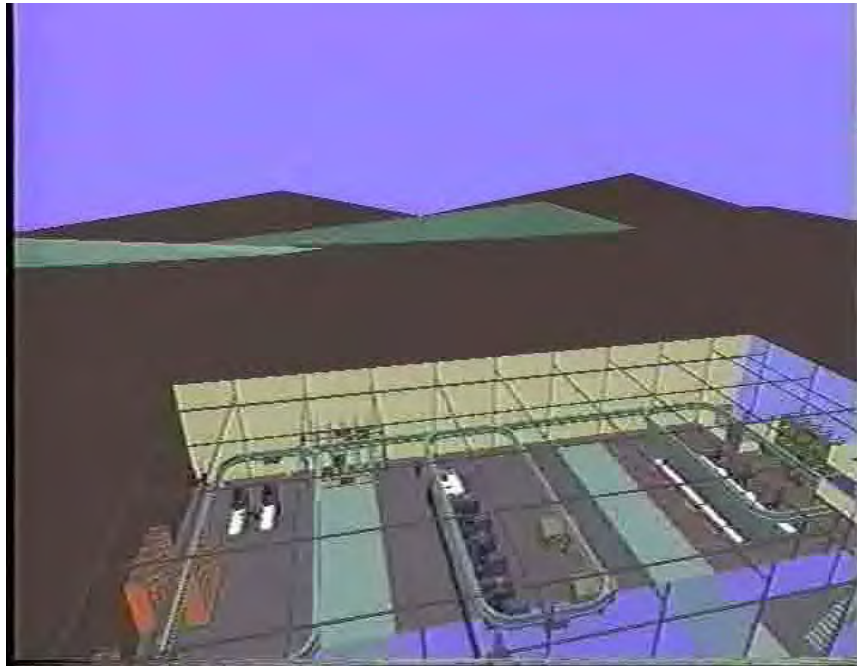
仮想ショップフロアの構築例

工場敷地: 24m × 48m
オブジェクト数: 約300
能動的オブジェクト:
作業員, M/C, AGV, ロボット, 3D測定機, 自動倉庫, コンベア, プレス機, ...



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

VirtualWorksのデモビデオ



1998 VirtualWorks/Osaka Univ.

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

デジタルヒューマンモデルの導入

■ 生産を担う主要なプレーヤとしての作業者を仮想ショップフロアに導入

■ 身体的モデル

- 49部位 + 1帽子

【頭, 首, 体軀(3), 上肢(2x2), 手(17x2),
下肢(2x2), 足(2)】

- 76 運動自由度

【首(3), 体軀(3), 肩(3x2), 肘(1x2),
手首(3x2), 手指(20x2), 大腿(3x2),
膝(1x2), 足首(3x2), 足先(1x2)】

■ 視覚モデル

視野に含まれる対象物の方向, 姿勢, 大きさ

■ 聴覚モデル

その場で聞くことのできる音圧など(HRTF)



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

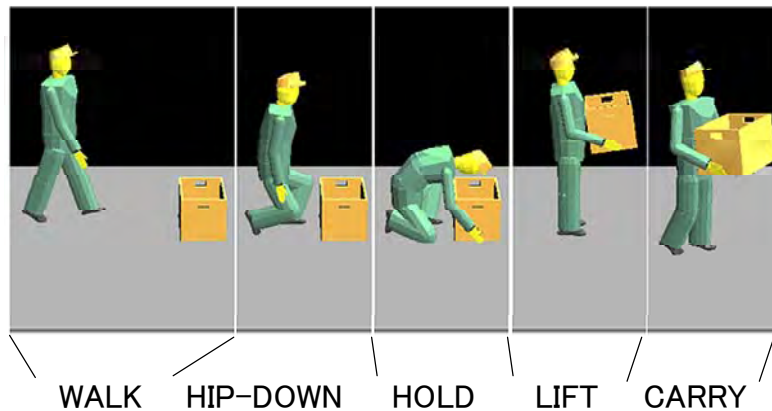
Therblig Interpreter

サーブリッグ(Therblig): Gilbrethらによる作業分析手法における17の基本動作

search, select, grasp, reach, move, hold, release, position, pre-position, inspect, assemble, disassemble, use, unavoidable delay, avoidable delay, plan, rest

- “サーブリッグ的”なレベルで動作の指定を行うことで、自律的に人間モデルが作業を行うことができる仕組み

→ Therblig Interpreter



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

Affordance Protocol

いかにして人工物を扱う動作を決定するか？

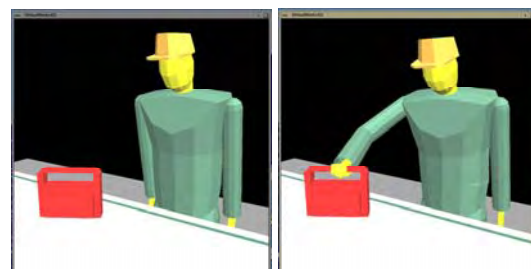
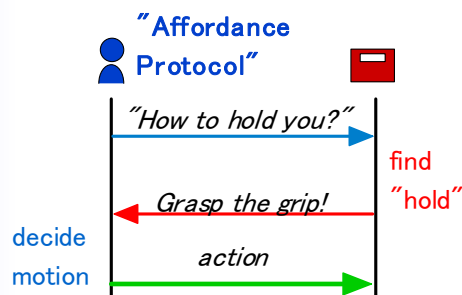
- ➔ 人工物は、自分がどのように扱われるかを人間に語りかけてくる

アフォーダンス (Affordance)

- 対象物のモデル側に、どのように扱われることを意図されて作られたか、という情報を埋め込み、人間モデルとのインタラクションを通じて、人間モデルに情報を提供する



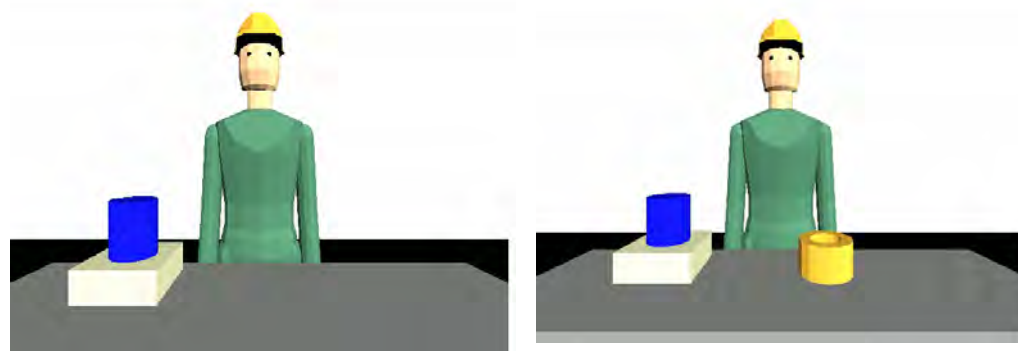
D.A. Norman (1988)
"The Psychology of Everyday Things"



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

人間モデルの作業例

円筒対象
をつかめ



円筒対象
をつかんで
引き出しに
いれろ

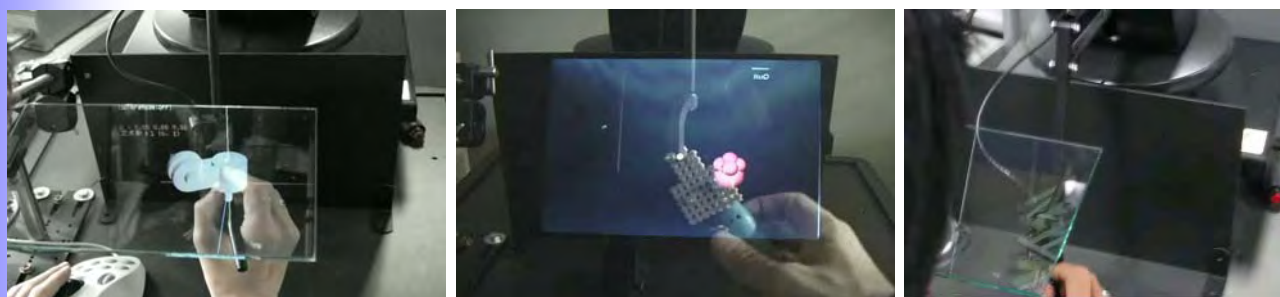


VirtualWorks 作成: 森川寿信
北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

XEONA: 実と仮想の融合

裸眼立体視+触力覚提示デバイス+ハーフミラー
+制御用ソフトウェア

- CADの3次元モデルの部分指定して必要な情報を埋め込み
- 仮想モデルを用いた反力により実体を加工(ダイレクト・カービング)
- がれきの3次元モデル内を仮想探査ロボットにより移動・モニタリング



北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

ものづくりのこれから



43

生産のデジタル化の将来(1)



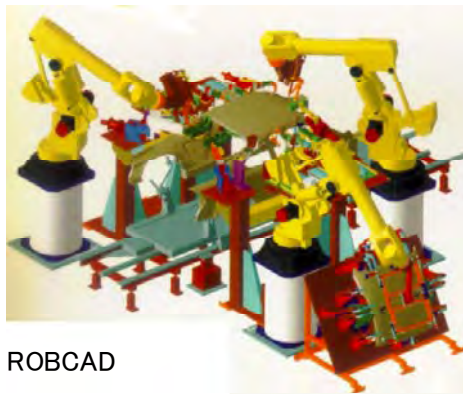
● 生産情報の総デジタル化

- 実物と(情報面で近似的に)等価なデジタル情報が利用可能に

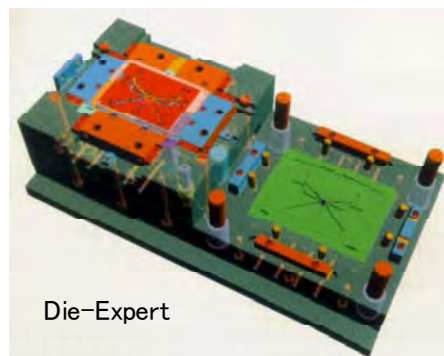
3D-CAD

→ デジタル・モックアップ

→ デジタル・オブジェクト・ライブラリ



ROBCAD



Die-Expert

デジタル化される情報があるレベルを越えると一気に進行

44

生産のデジタル化の将来(2)

● 製造プロセスのデジタル化

- デジタル制御による粉末合金焼結成形技術の実用化
Rapid Prototyping → *Rapid Manufacturing*
- 工場フロアの情報ネットワークと制御デバイスのワンチップ化



EOSINT M250



焼結成形された射出成型用金型



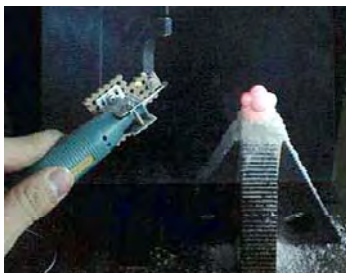
焼結成形された鋳物用砂型

45

生産のデジタル化の将来(3)

● 人間とデジタル世界との連携

- 人間のデジタルモデルの利用(コンピュータ・マネキン)
- 人間へのデジタル情報の効果的な提示手法の実現(VR, AR)



XEONA/大阪大学



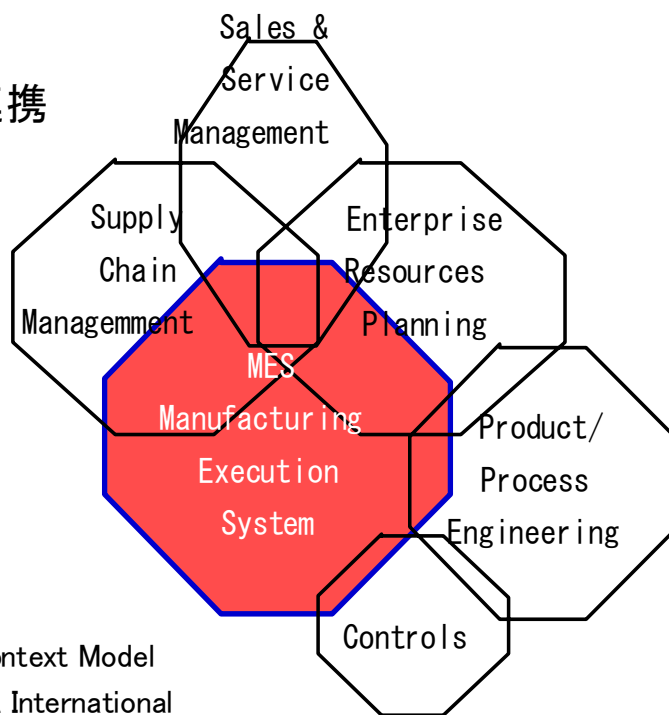
ROBCAD/Man

46

生産のデジタル化の将来(4)

● 企業情報システムとの連携

ERP(Enterprise Resource Planning),
SCM(Supply Chain Management)などの
有機的連携による迅速性と柔軟性
の追求



MES Context Model
by MESA International

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

生産のデジタル化の将来(5)

経済産業省による デジタルマイスター プロジェクトの推進

従来の技能・知識と高度情報処理・通信技術との融合

ものが作れて、モデルも扱える、実一仮想両刀使いの人材が必要！

The screenshot shows a presentation slide titled 'デジタルマイスタープロジェクト' (Digital Master Project). The slide is displayed in a Microsoft Internet Explorer browser window. The content of the slide is as follows:

- 目的 (Objective):** ものづくりを支える技能と情報通信技術 (IT)とを融合して、製品の設計・製作を高品質、短納期化、低コスト化できるものづくり支援システムの開発を行う。
- 内容 (Content):**
 - 技能の技術化 (Skill Technology)
 - データベース・支援ソフトウェア (Database/Support Software)
 - CAD/CAM/CAE システム (CAD/CAM/CAE System)
 - 高速・高精度工作機器開発 (High-speed/High-precision Machine Tool Development)
 - 製品 (Product)
 - 不具合、失敗など (Issues, Failures, etc.)
 - 更なる技能開拓へフィードバック (Feedback for further skill expansion)
- 目標 (Goal):** 製品設計・製作リードタイムの短縮、コスト低減、品質向上→競争力強化 (Shortening product design/manufacturing lead time, cost reduction, quality improvement → strengthening competitiveness)

<http://www.nedo.go.jp/iinkai/singi/sangi/1/6.pdf>

北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)