

# システム環境情報学特論

## Informatics for Systems and Environment

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

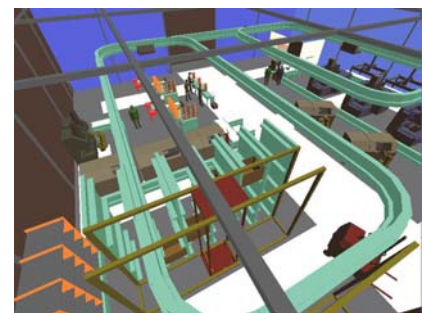


## コンピュータ内に形成される世界



### コンピュータの能力のめざましい向上

- ✓CPUの高速化
- ✓データ記憶コスト(円/バイト)の低減
- ✓グラフィックス能力の飛躍的向上
- ✓3次元CADによる形状データの作成
- ✓3次元計測装置の普及
- ✓メガポリゴンのハンドリング
- ✓データビューワーの普及
- ✓コンパクトな形状データ表現形式
- ✓3Dアプリケーションの増加



VirtualWorks/北海道大学

### コンピュータ内に仮想世界を構築する

- ✓詳細なモデル構築
- ✓多面的で精度の高いシミュレーション



Geo-Element/日本SGI

# コンピュータの中に世界を作るとはどういうことか？

## 対象とする実世界

橋梁／農地／発電機／...

株式市場／法人／教育／...

### 物理的な世界

- 物質／エネルギー
- 実体／自然環境
- 物理(化学)法則

### 論理的な世界

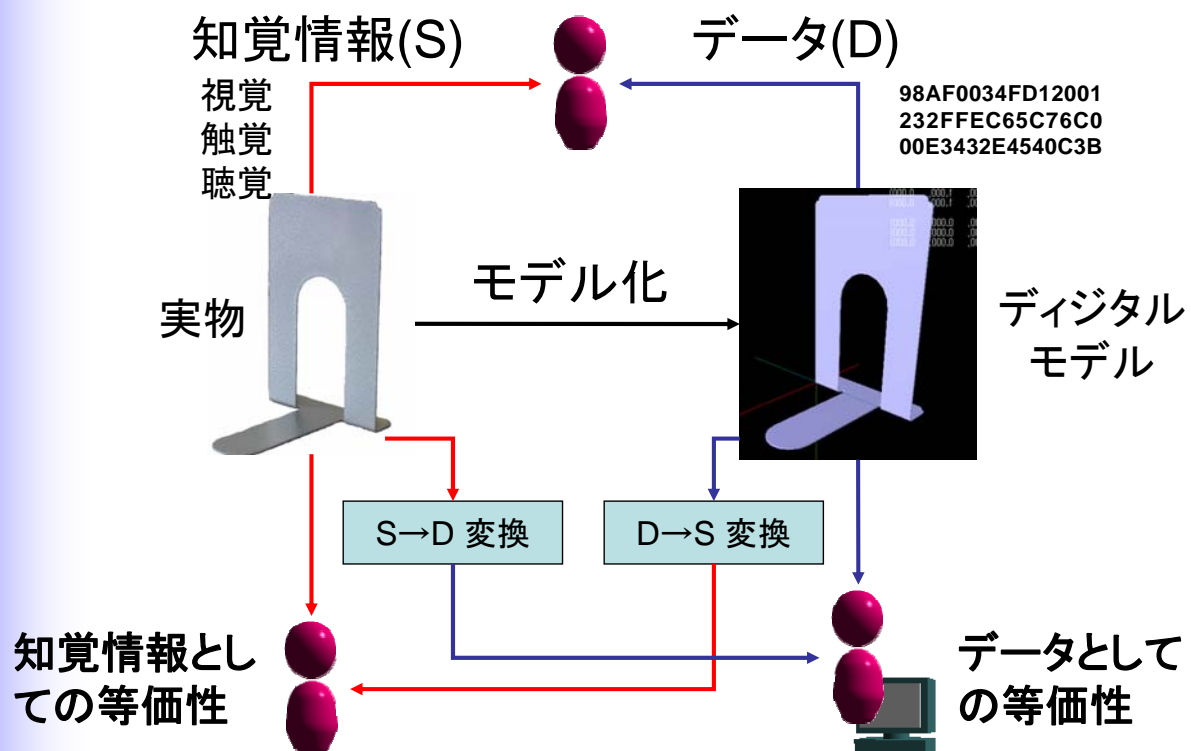
- 情報
- 組織／システム
- 論理／法規／制度

### コンピュータの中の世界

- データ
- モデル(オブジェクト)
- ルール／プログラム

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)

# 物理世界をコンピュータ内で表現するとは？



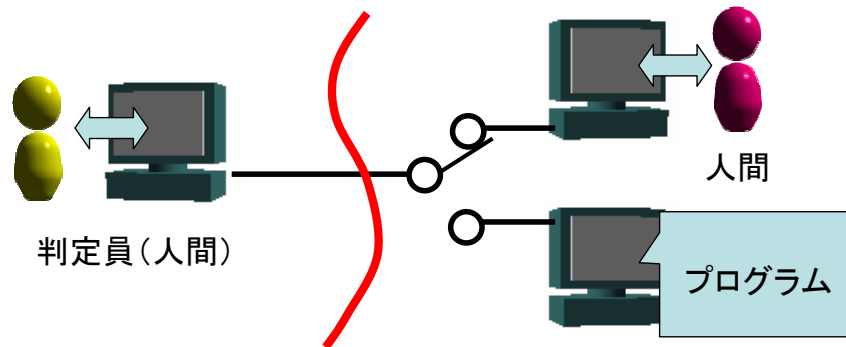
北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

# 情報の等価性

AとBが情報的に等価であるとは？

参考： チューリング・テスト (Turing test)

アラン・チューリングが提案した「機械が知的であるか否か」を判定するテスト



# どこまで記述すればよいのか？

カップ2つのだけ世界



カップA



カップB

2つのカップを識別するために必要な記述は？

カップの直径(または扁平率)

# どこまで記述すればよいのか？

## より多様な世界



これらの対象を確実に識別するための記述とは？

- 識別対象が列挙可能 “適切”な属性の選択で分離可能
- 識別対象が列挙不可能 ????

# どこまで記述すればよいのか？

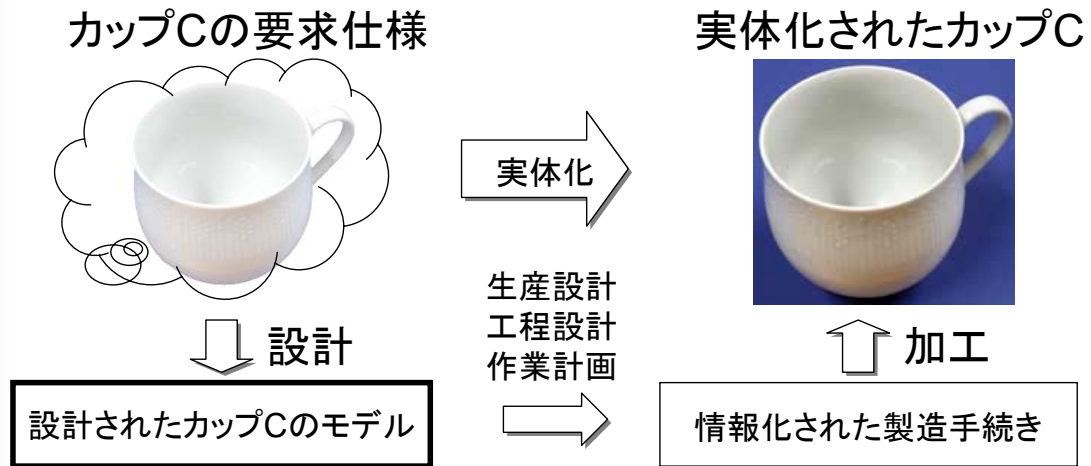
## 同じモノをつくる



- 計測（認識）と加工（行為）の詳細度に依存
- 情報の間の整合性は実物の存在により保証

# どこまで記述すればよいのか？

## 新しいモノをつくる

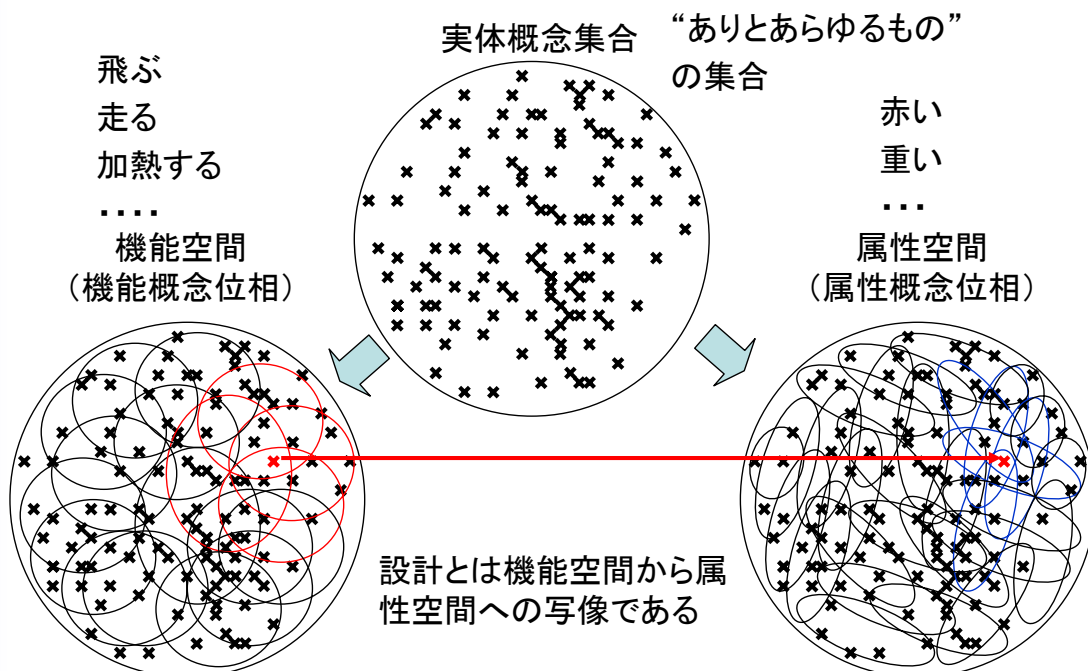


- 設計(規定)と加工(行為)の詳細度に依存
- 情報の整合性／実現可能性は検証が必要

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)

# ちょっとより道：一般設計学

一般設計学 (General Design Theory) : 吉川 弘之



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)

# 世界をどう認識するか？

## 古代ギリシャの自然哲学

アルケー(万物の根源)の探求

- ターレス(B.C.624-B.C.546): <水>
- ピタゴラス(B.C.582-B.C.496): <数>
- エンペドクレス(B.C.490頃-B.C.430頃):  
<土>, <水>, <火>, <空気> (四元素説)
- デモクリトス(B.C.460頃-B.C.370頃):  
<原子> + 空間 (原子論)

---

## 古代中国(戦国時代:紀元前3世紀頃)

五行説:木, 火, 土, 金, 水

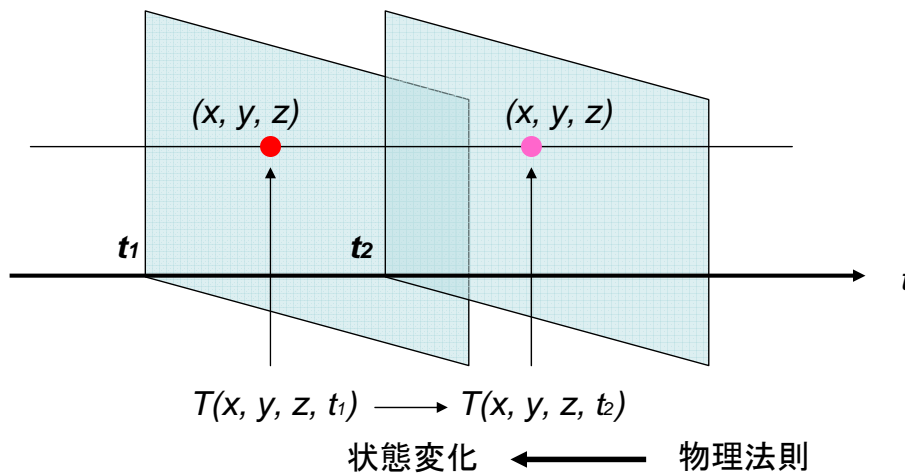
# “典型的”な物理世界観

- 均一な3次元的な空間の広がり(デカルト座標)
- 均一な時間の流れ(実数との対応)
- 保存される質量/物質(エネルギーとの交換なし)
- 1つの部分空間は1つのモノによって占有
- 1つのモノは同時に離れたところには存在しない
- 物理法則によって支配される世界
- 自然は意思をもたない

## デカルトの機械論的自然観

# 物理世界記述のスキーマ

- 記述の枠組みとしての空間+時間(時空間)
- 時空間の部分空間を占有する物質
- 時空間の各点に定義される属性(状態)

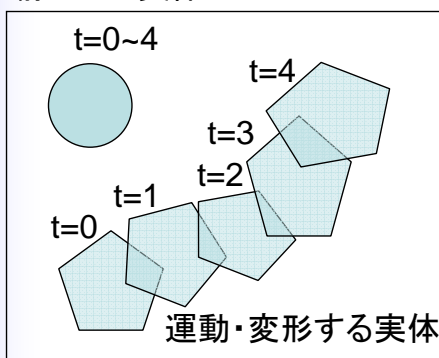


北海道大学情報科学研究科 システム情報科学専攻 小野里 雅彦 (Masahiko Onosato)

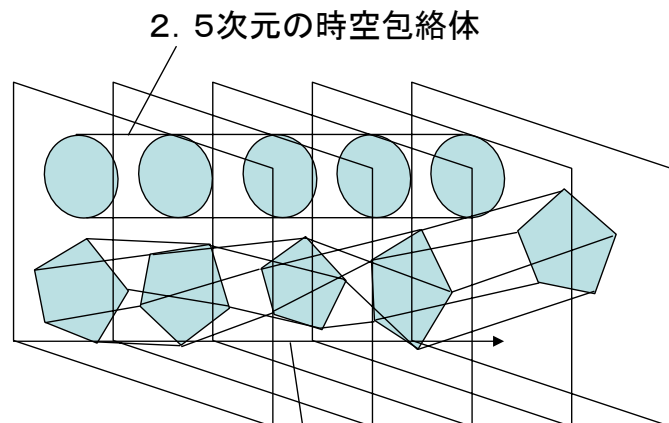
# 時空間と実体の運動

## 空間を2次元に縮退した例

静止した実体



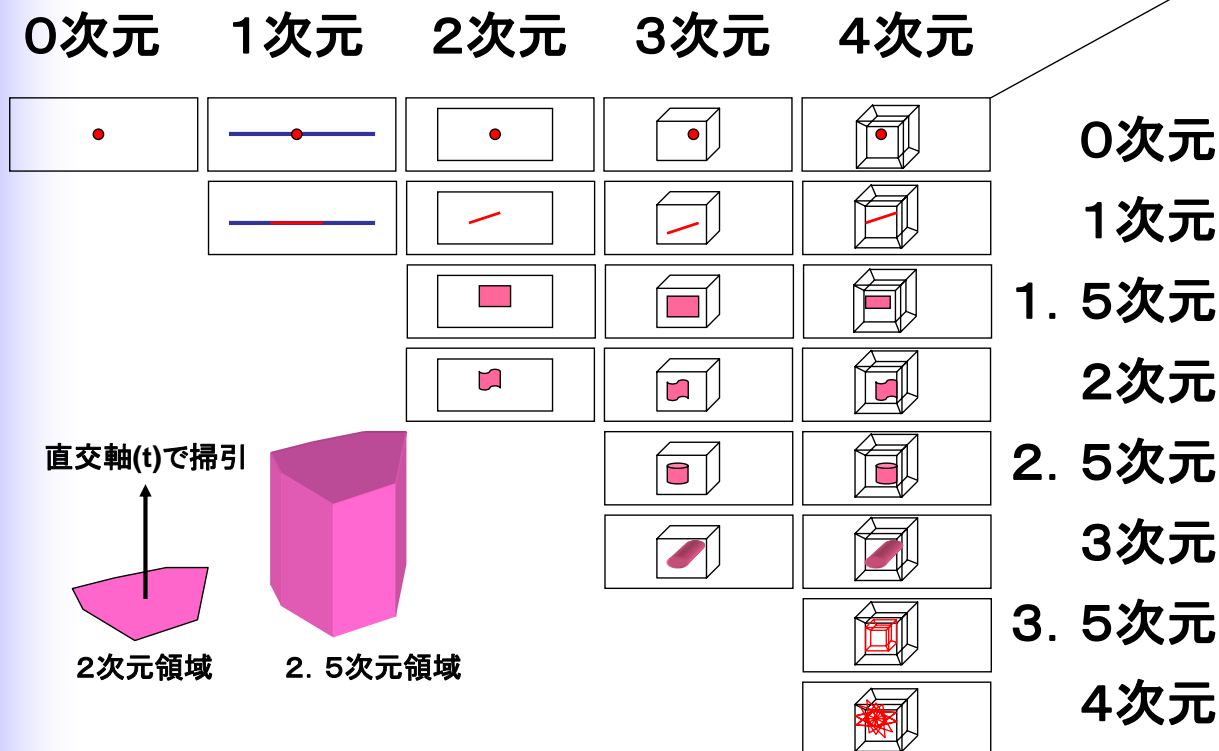
空間2次元



空間2次元+時間1次元

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)

# 空間の次元と部分空間の表現



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)

# 物理法則をどう実現するか？

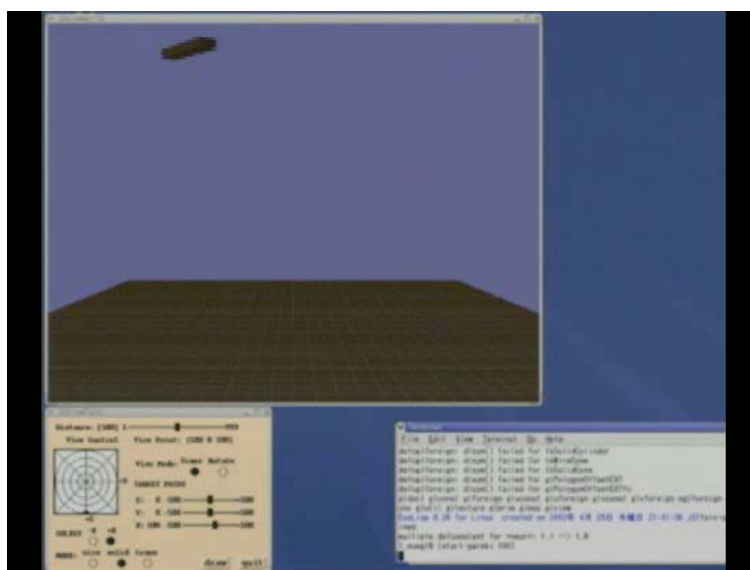
物理法則

$$F = m\ddot{x}$$

$$T = I\ddot{\theta}$$

法則は極めて明快  
でも実現は結構大変

物理法則は量の間  
の関係を述べても、  
その量をどうやって  
求めたらよいかは  
教えてくれない....



例：がれきの簡易山積みプログラム

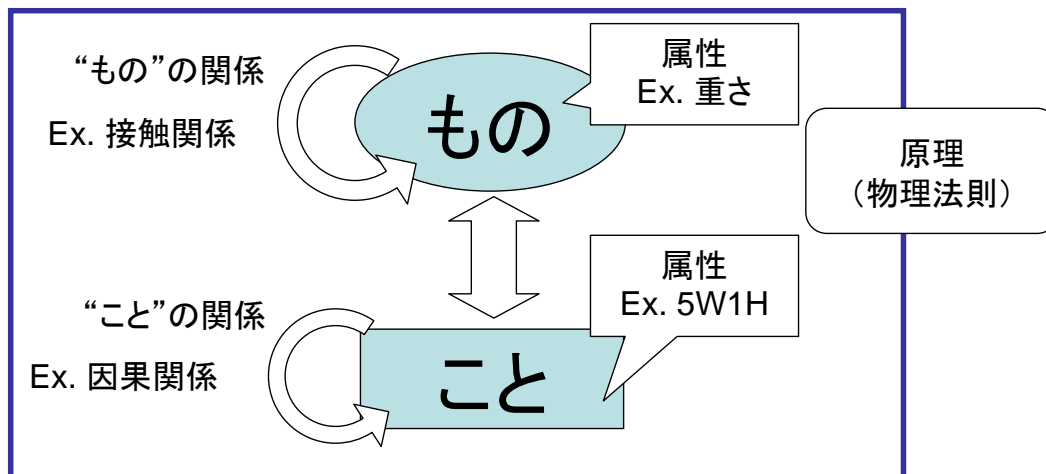
世の中に様々なCAEシステムが存在する理由

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”と“こと”

「こと」:「もの」の 「働き」「作用」「所作」  
「状態」「様相」「性質」「関係」



簡単には もの: 主語, 目的語 こと: 述語

# もの(実体)の概念

アリストテレス

<もの> = 「質料」+ 「形相」

ソシュール[一般言語学講義]

<もの>の存在の根拠は自然世界側にあるのではなく認識する側にある。(言葉による世界の分節)

ヴィトゲンシュタイン[論理哲学論考]

2.025 実体は形式と内容である.

2.0251 空間, 時間, そして色(有色性), これが対象の形式である.

# もの(実体)の概念

映画のフィルムでは、「ボール」はただ一つのコマの中の状況の部分をなすのではなく、多数のコマの中に繰り返し現れる。

—<中略>—

フィルムの次々のコマの中の当該部分を結ぶ時間線を引いて、この線上にあるものはすべて「同じ」物体だと宣言しているようなものだ。この線のある一組の属性と組み合わせたものが、物理的対象(物体)という概念を形成する。

トウルチン[人間現象としての科学]

# もの一形一場所

- もの(実体)は固有の形をもつ
  - 実体の境界は明確である
  - 形は実体の安定した性質である
- もの(実体)は空間内のある場所を占有する
  - ものは同時に2つの離れた場所を占有しない
  - ひとつの場所は同時に2つのものによっては占有されない
- もの(実体)が剛体であるならば、移動によって形は変わらない

固体の「オントロジ」

## ものの境界について

必ずしもすべてのシステムが物理的に目に見える形をしているわけではないので、境界という考え方は一般に言葉の上の考えに過ぎない。たとえ物理的な境界をもつシステムを扱う場合でも、その判定が困難な場合があることを見てきた。これは境界として何をとるかが経験とか慣習とかに大いに左右されるからである。 -<中略>-

たとえば、境界を策定する場合、容易に認識できる物理的特徴に強く影響される。色の差、手触りのちがひ、固体と液体の接触面、液体と気体の接触面……このようなところがよく境界として策定される。ところが、固く結合されて一体となって移動している2つの固体間に境界を策定するのは、何となくちゅうちょされる。

ワインベルグ [一般システム論]

## 川を見ながら……

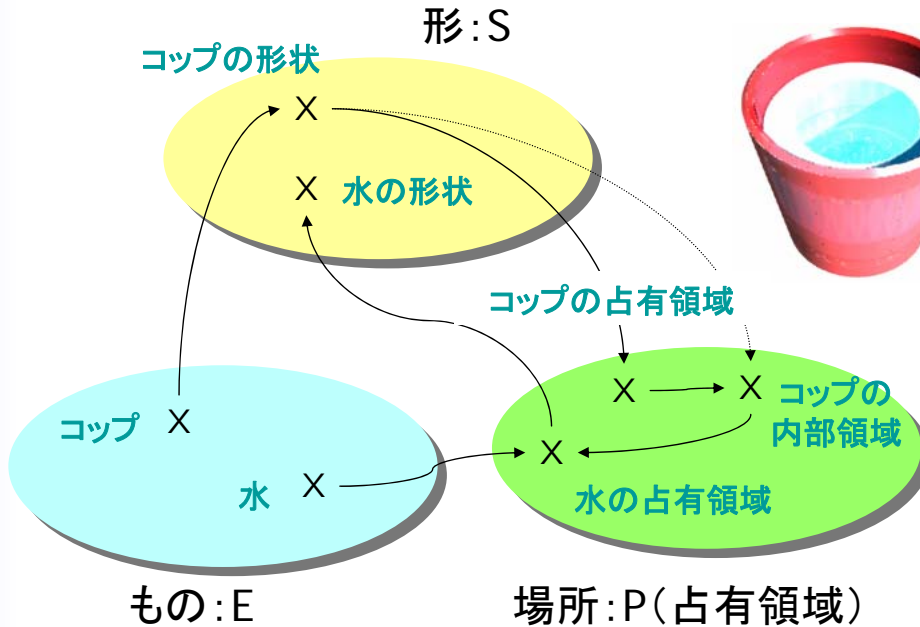


中央ローン サクシュコトニ川

ゆく河の流れは絶えずして、  
しかも、もとの水にあらず。  
鴨長明「方丈記」

# 流体のオントロジ

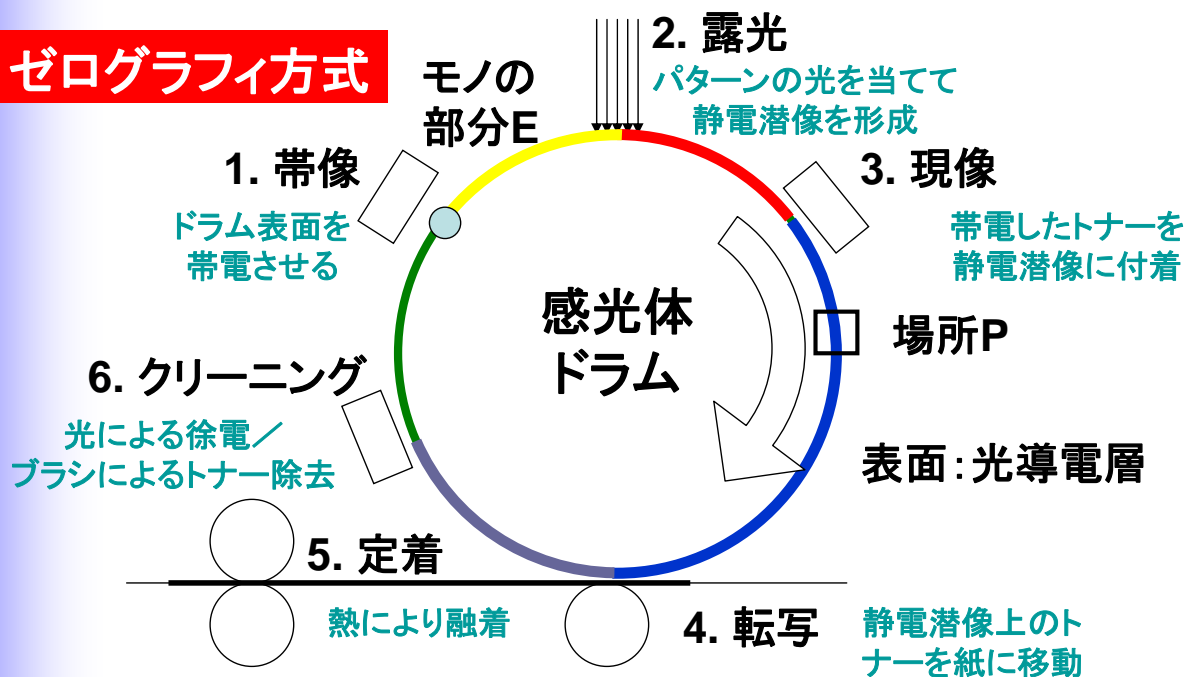
流体における”もの-形-場所”の関係は？



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)

# PPC複写機のドラム

## ゼログラフィ方式

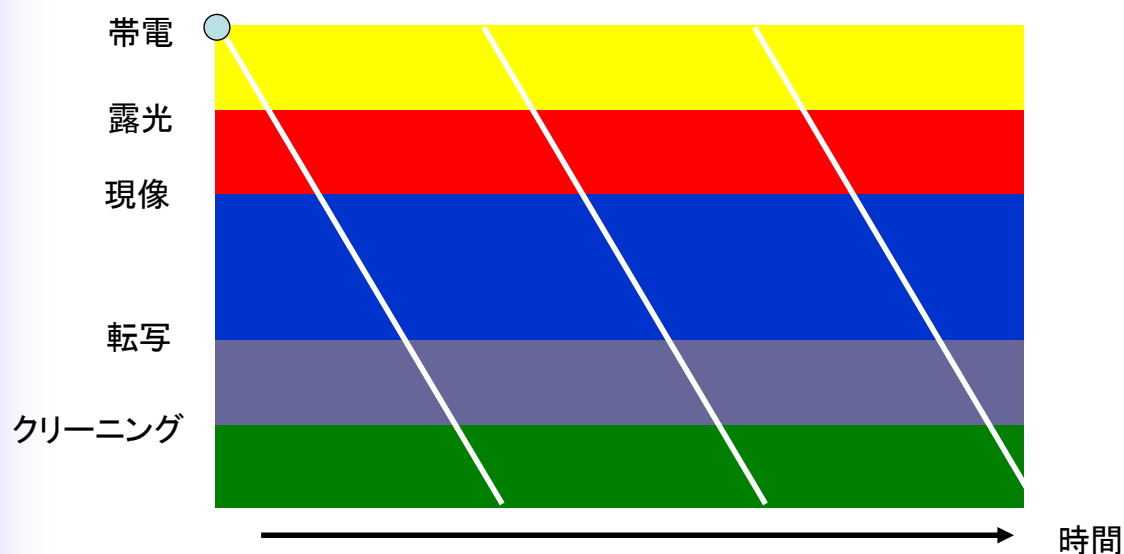


4次元空間で記述するとどうなる？

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)

# 複写機ドラムの時空間

ドラム表面の空間を展開してみると....

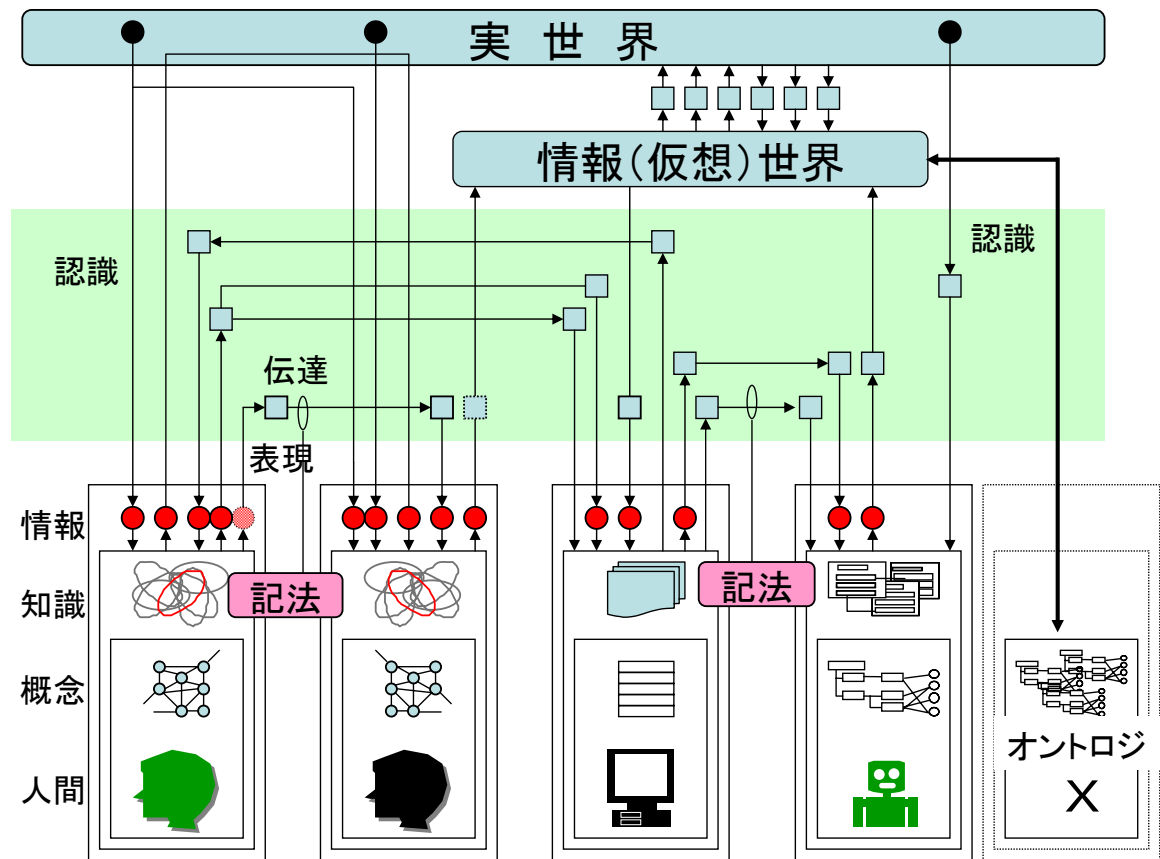


場(空間)のもつ性質, ものの持つ性質

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)

デジタル世界の中で  
知識を共有すること

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)



## データ・情報・知識



【データ(Data)】 ← 外在

世界に関して文字や数字などの記号により記述したもの

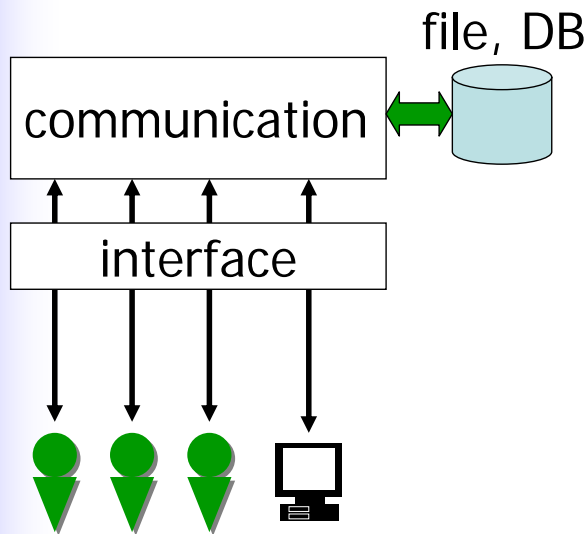
【情報(Information)】 ← 作用

データを受けとった側がそこに見いだす意味, あるいは意味を与えるデータ

【知識(Knowledge)】 ← 内在

問題解決を行う上での体系的に組み立てられた情報の全体

# データの共有

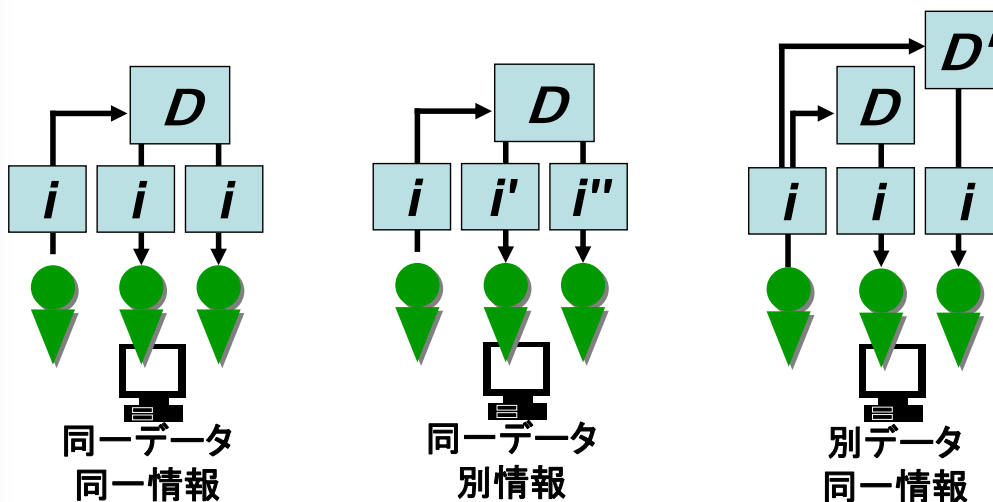


- ◆ データの所在 (アクセス)  
リポジトリ, 分散DB,  
URL, URI
- ◆ データの形式 (メディア)  
Unicode, PDF, MPEG
- ◆ データの信頼性  
セマフォ, SSL, RAID
- ◆ データ転送 (ネットワーク)  
ブロードバンド, HTTP,  
データ圧縮

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)

# 情報の共有

## ■ データの共有 ≠ 情報の共有



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)

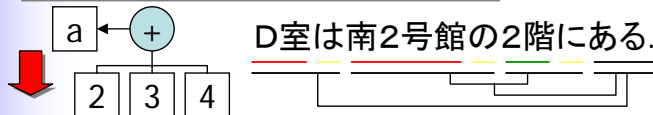
# 情報の共有

## データ入力(音声認識)

(setq a  
(+ 2 3 4)) D室は南2号館の2階にある.

## 構造解析(構文解析)

文法/形式に  
ついての知識 ← 文法/形式に  
ついての情報



## 解釈実行(意味理解)

← 処理側の概念体系/操作体系



# 情報の共有

## データ(D) → 情報(I)

- データ記述形式の共有/共通化
    - 記述言語による明示的定義
  - 概念系(指示対象)の共有/共通化
    - オントロジ, URI (Universal Resource Identifier)
  - 処理(行動)の共有/共通化
    - サービス定義, ASP (Application Service Provider)
- XML  
Java  
WWW

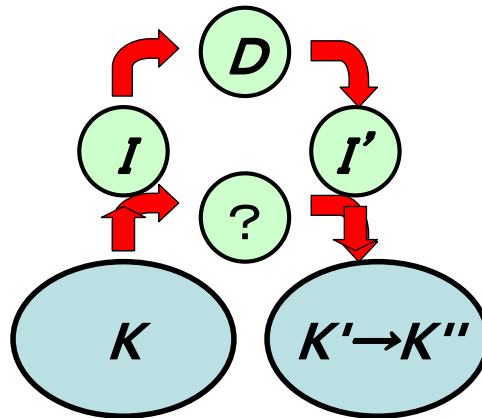


## ■ いかにして"知識"を共有・伝承するか？

*Digital Meister Project (METI/NEDO)*

### ◆ 知識と共有

内在 外在

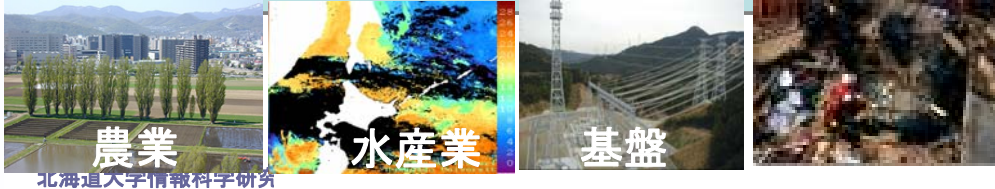
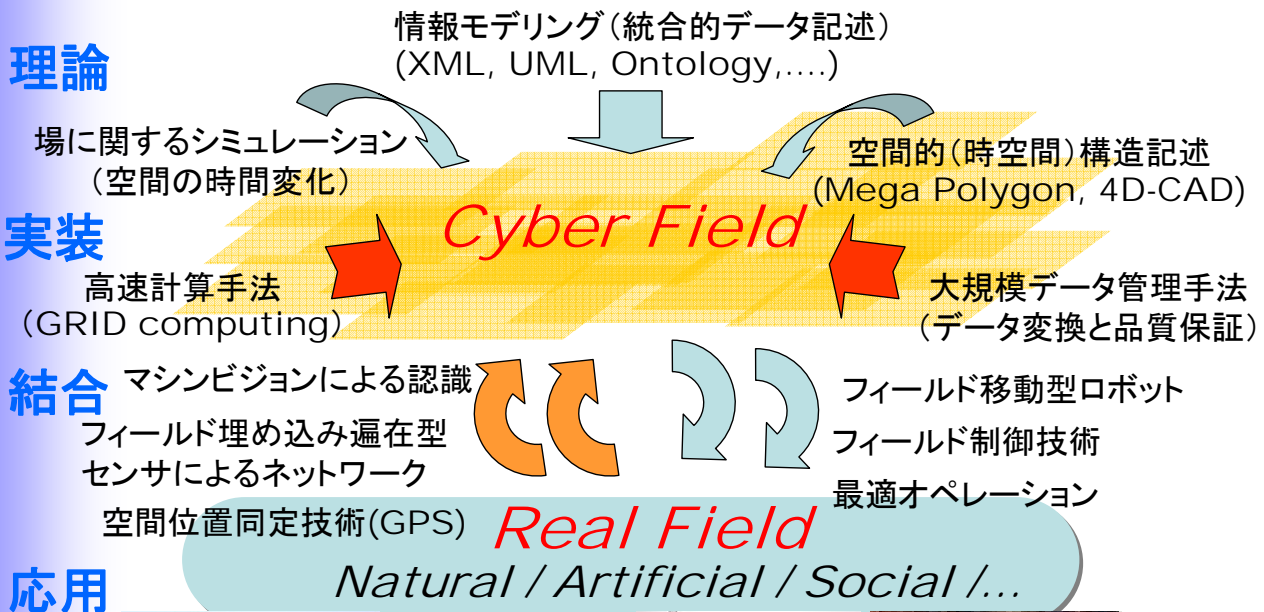


### ◆ 共通の機能(問題解決能力)をもつ知識を形成することのできる情報(を与えるデータ)とは？

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)

## コンピュータに構築される世界の広がり 「サイバーフィールド」

# システム情報科学専攻 サイバーフィールド・プロジェクト



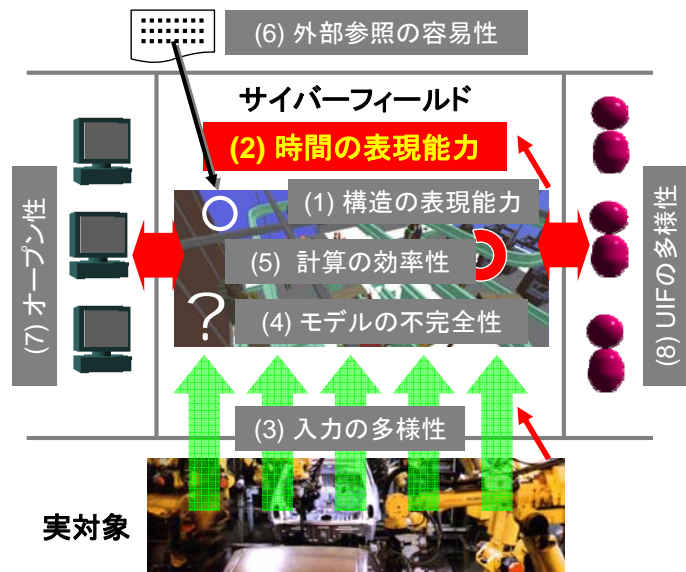
## サイバーフィールドへの要求事項

- 形状
- 色・質感
- 配置
- 接続関係
- 組立品
- 物質特性
- 物理制約
- 柔軟物・流体
- .....



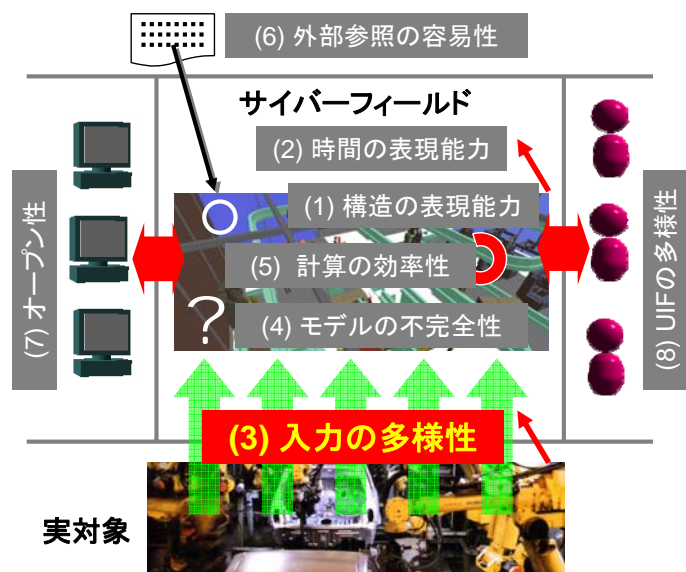
# サイバーフィールドへの要求事項

- 実時間
- バージョン(改定履歴)
- 実績
- 予想(予定)
- 可能世界
- .....



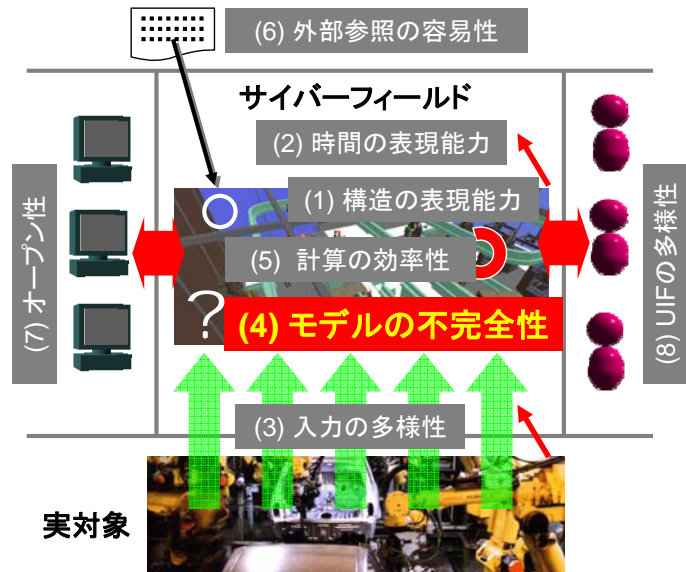
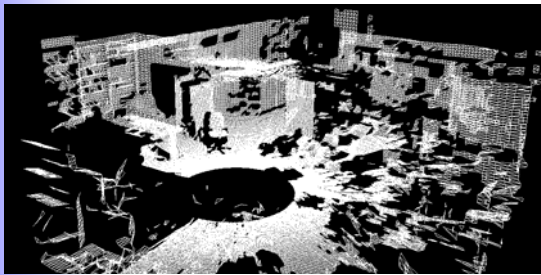
# サイバーフィールドへの要求事項

- CAD
- 3次元プロファイラ
- 形状データベース
- 3Dware house (Google)
- .....
- 点群
- メッシュデータ
- ボクセルデータ
- ソリッドデータ
- .....



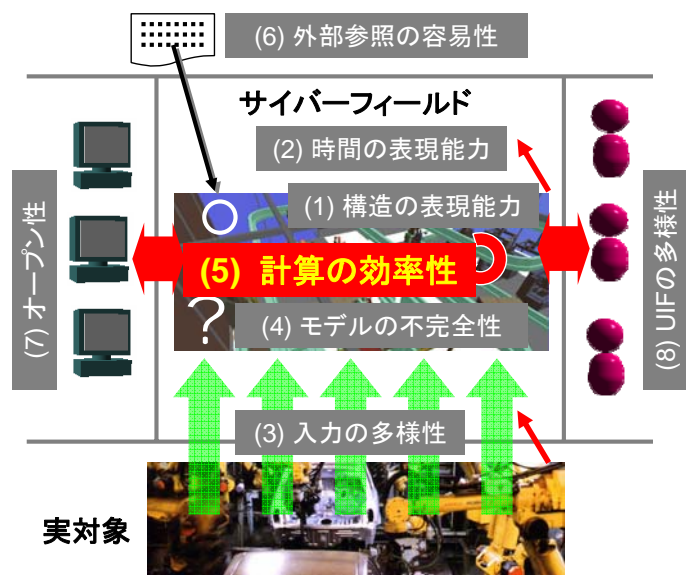
# サイバーフィールドへの要求事項

- 概略形状～詳細形状
- 全体形状～部分形状
- ノミナル形状～実形状
- ノイズ
- 欠落(遮蔽)



# サイバーフィールドへの要求事項

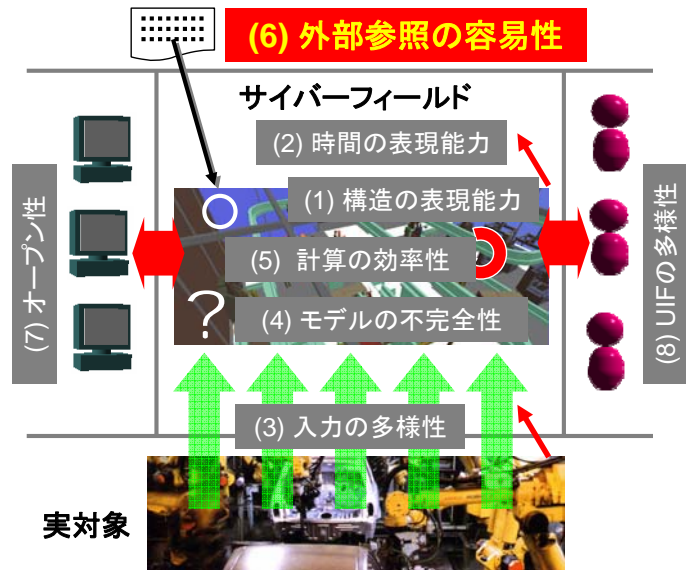
- 10m × 10m × 10m  
を1mm立方ボクセル  
で表現。(1ボクセル1  
バイト)  
 $= 10^{12}B \sim 1 TB$
- 処理の総当たり, 組合  
せ的处理  $O(N^2)$  は実  
行困難
- 効率的処理のための  
メタデータの構築



# サイバーフィールドへの要求事項

- 属性条件の検索による対象の絞り込み
- 時空間領域指定による絞り込み
- URIによる直接参照
- 形状の画像参照による選択

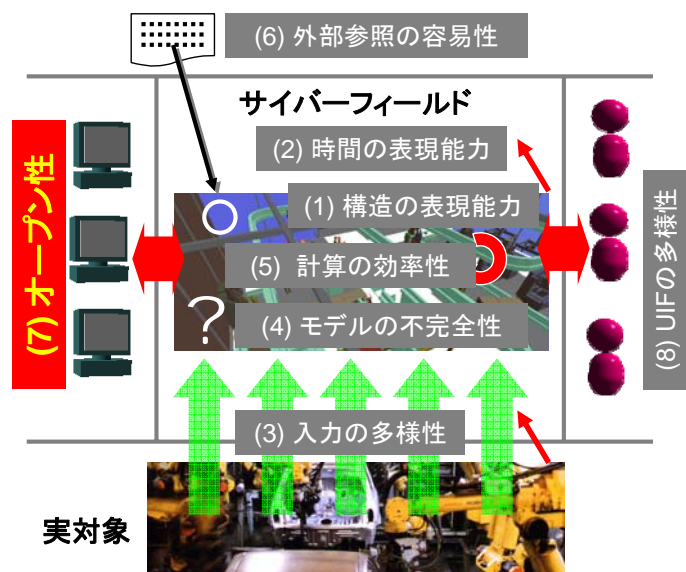
.....



# サイバーフィールドへの要求事項

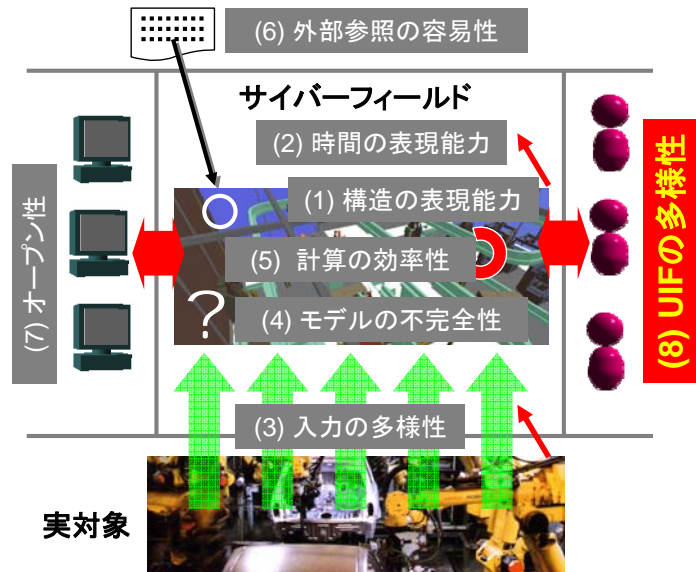
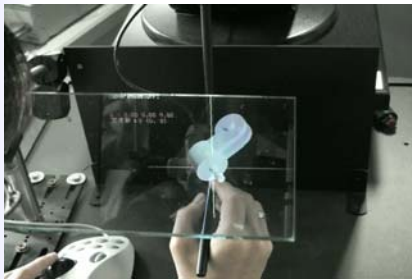
- データフォーマット
- データスキーマ
- API
- SQL
- クライアント・サーバ

.....



# サイバーフィールドへの要求事項

- モデルビューワー
- 立体視
- 触力覚提示
- スケッチャー



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)

# サイバーフィールド(CF)の構成

## ■ 実フィールド(RF)

- 実際の活動が行われ、解決・改善すべき問題を抱えている対象領域. 工場システム, 交通システム, 都市防災体制, 電力等の社会基盤, 農林水産業, 気象など.

## ■ サイバーフィールド(CF)

- 実システムの構造と性質, 挙動をコンピュータ内に表現し, シミュレーション等によって情報を推定することが可能な体系.

## ■ センシング (RF→CF)

- 実フィールドの状態をサイバーフィールドの状態に反映させるための情報取得の部分. 例えば機器や環境に埋め込まれたセンサの計測データや, 3次元プロファイルの点群データ, リモートセンシングの画像, 人間からの観測報告など.

## ■ アクション (CF→RF)

- サイバーフィールド上で計画・評価された内容に基づいて, 実フィールドへと働きかける部分. 例えば, 機器や環境に埋め込まれたアクチュエータの制御, ロボット等の自動機器による作業, 人間による作業行動など.

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)

# C.F.での実現を目指すこと

- 実-仮想の双方向のインタラクション
  - センシング & アクション
- リアルタイム性
  - 情報収集→情報提示→意思決定支援の短時間化(ex. 災害情報)
- 先端シミュレーション技術とのシームレスな連携
  - 分散シミュレーション, 過去・未来・現在に対する推定技術
- 詳細な3次元データ(メガポリゴン)の取り扱い
  - 2D空間から詳細な3次元情報利用へ(都市, 地下街, 地層, ...)
- 時空間に対する強力な演算・推論機構
  - 集合演算, 不確定情報に対する推論, 区間演算, ....
- マルチメディア・データベース
  - 写真, 動画, シミュレーションデータ, テクスチャ, 3Dメッシュデータ, ....
- さまざまな応用領域に対する共通的な情報基盤の実現
  - 農林水産業, 電力等の社会基盤, 都市防災, 森林火災, 交通システム, ...

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)

# C.F.実現に向けての課題

いかにして包括的・整合的・多面的に世界を記述するモデルを構築するか？

## ものでない対象

記述対象は実体とは限らない。  
何もない空間や現象など



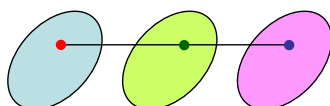
## 記述粒度不定

記述におけるLODと, 記述内容の不確定性(定性的, 選択的)



## アスペクトの対応付け

多面的記述を相互に結びつけるものは何か？



## 多様な”時間”軸

時間スケールの違い, 計画と実績, バージョン管理など



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)