



# 役に立つAI研究とは？

—オントロジー工学を例題として—

溝口理一郎  
大阪大学 産業科学研究所

# 話の概要

- 役に立つ研究
- セマンティックWebとオントロジー
- 内容指向研究
- オントロジー工学概説
- オントロジー工学の研究例
- 機能のオントロジーとその実用例
- オントロジー工学と研究スタイル
- (再び)役に立つ研究
- まとめ

# 役に立つ研究 1

## ■ 効率の良い研究

### ■ 効果／投資 が 大きい

- 簡単なアイデアで努力しないで有用な結果
  - 企業としては最高
  - 研究者としては？

### ■ 具体例を一つ

# ブリーフの前開き



# 役に立つ研究 1

## ■ 効率の良い研究

### ■ 効果／投資 が 大きい

- 簡単なアイデアで努力しないで有用な結果
  - 企業としては最高
  - 研究者としては？

## ■ 研究者は何をしたいのか？

- みんなが解いて欲しい問題を解きたい
- 努力の結果であることが分かる様に解きたい
- 科学者, 研究者として尊敬されたい
- 学問の進歩に寄与したい (**知識の蓄積**)

## ■ 多くの問題は

- **豊富な知識**と**不断の努力**と**卓抜な着想**が必要

# 役に立つ研究 2

- 役に立つ研究 ≠ 結果が見える研究
  - 役に立つ研究 → 結果が見える研究 (多くの場合 真)
  - 役に立つ研究 ← 結果が見える研究 (多くの場合 偽)
- 何の役に立つか
  - 実社会の問題の解決 → 応用研究 (たぶん)
  - 学問上の問題の解決 → 研究一般
- いつ役に立つか
  - 長期 vs. 短期
  - 長期的展望 → **成果の蓄積が必要**

■ 基礎研究                      vs.                      応用研究



じゃ、オントロジーは役に立つのか？

**オントロジーは最も役に立たない研究！**

- 哲学者が何千年もの間、「存在とは何か」とか、どうでも良いような事を延々こねくり回している.....

と思われている 😊

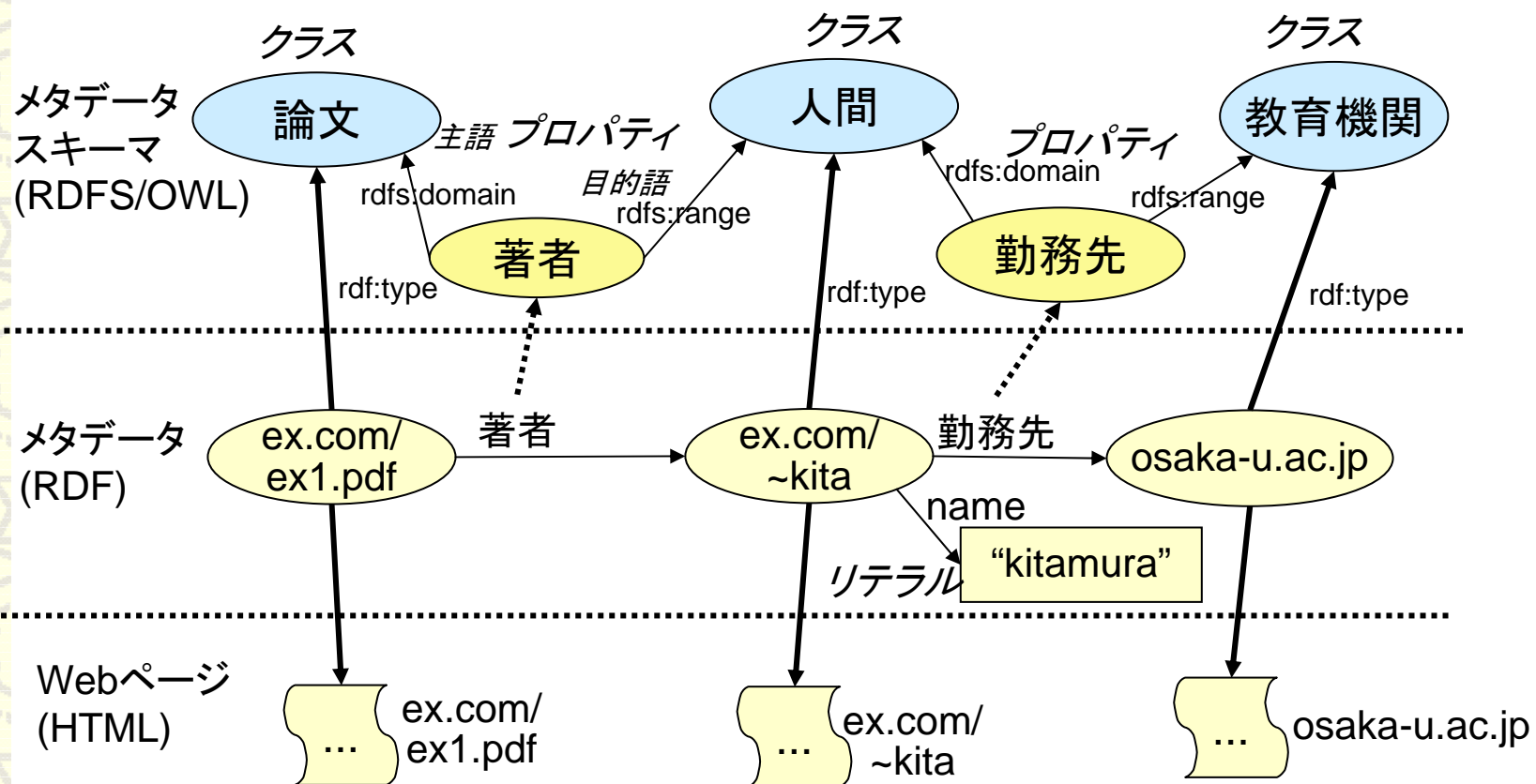


# セマンティックWeb



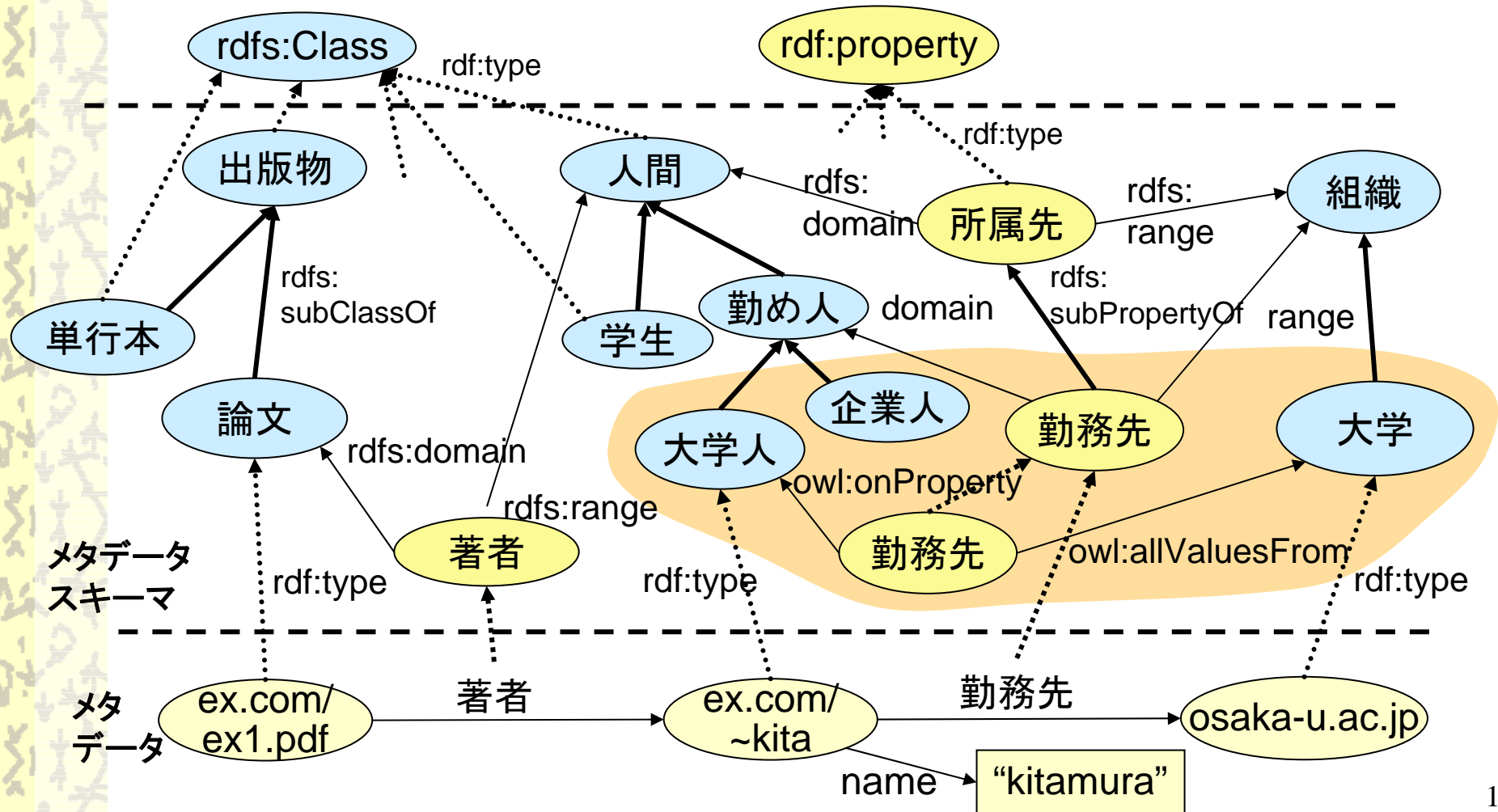
# メタデータとスキーマ

- メタデータ: Webページに対する注釈(アノテーション)
- スキーマ: メタデータの語彙を定義する



# スキーマとしてのオントロジー

## ■ 厳密に定義する (OWL: Web Ontology Language)



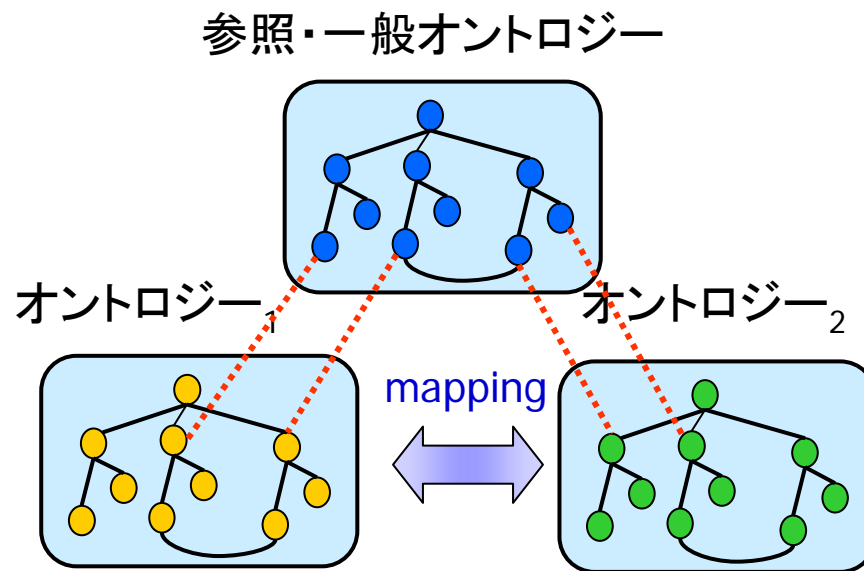
# オントロジー工学との関連

- オントロジーはメタデータスキーマとして使える
- でもオントロジーといってもWeb用は...
  - Web Ontology Language
  - **Light-weight Ontology** (<-> **Heavy-weight ontology**)
    - 語彙が中心.
    - 哲学的に深い考察はない場合が多い
  - 目的に依存した多様性
    - 複数オントロジーのアラインメント・統合, サービス
- オントロジー工学は知識の「内容」を工学的に扱うための基盤的技術
  - **スキーマを設計・運用する方法論**

# オントロジーマッピング

## 意味的相互運用性の確保

- Upper ontologyの利用(質を重視した手作業)
- 経験則や学習(大規模性への対処)



# セマンティックWebの技術的本質

- URIによる地球規模で一意的なidentityを持つ資源
- タグ付けによる資源へのメタデータの付与
- メタデータに関する主張
- メタデータ表現用の共通言語
- 共通の理解と語彙を表すオントロジー
- 新しいメタデータや知識を推論するルール

# SW=メタデータを対象にしたAI

これまでのAIとはどこが異なるのか？

## ■ 知識表現

- 従来: 閉世界, 無矛盾, 集中制御, 知識ベース, 一様, 小規模
- SW: 開世界, 矛盾あり, 分散制御, メタデータ, 多様, 大規模

## ■ 問題解決

- 従来: 診断, 設計, 計画, etc.
- SW: 情報検索, ナレッジマネジメント, etc.

## ■ (自動)プログラミング

- 従来: 小さな多くのモジュールの結合, 共通のプラットフォーム
- WS: 大きな少数モジュールの探索と結合, プラットフォーム独立

## ■ オントロジー

- 従来(ヨーロッパ): **哲学的考察に基づいた概念体系**
- SW(アメリカ): コンピュータ理解可能な語彙セット
  - 複数オントロジーのアラインメントや統合



内容指向研究とは？

# 形式 と 内容

$$\frac{\begin{array}{l} \blacksquare P \rightarrow Q \\ P \end{array}}{Q}$$

■ P(X)

- Human(X)
- Tall(X)
- Hungry(X)
- Walk(X)

p(x,y):-q(x,y).  
r(x,y):-q(x,z), p(z,y).  
q(a,c).  
q(c,b).  
=>  
r(a,b).

parent(x,y):-father(x,y).  
grand\_father(x,y):-father(x,z), parent(z,y).  
father(john,tom).  
father(tom,bob).  
=>  
grand\_father(john,bob).

内容： オントロジー



# 論理は知識表現の基礎か？

- 論理は推論の基礎であるが、知識表現の基礎ではない
- 知識表現されたもの と 知識表現する行為
- 論理の二つの役割
  - 直接法
    - $A \rightarrow B$  (Implication) で因果関係とする
  - 間接法
    - $A \text{ cause } B$  と書いてこの意味を論理で定式化する

# 知識表現 + 推論で十分？

■ 実世界の知識  $\Rightarrow$  知識表現  $\Rightarrow$  推論  
知識表現言語があれば十分？

■ 実世界の知識  $\Rightarrow$  **組織化された知識**  $\Rightarrow$  知識表現  $\Rightarrow$  推論

**対象のモデリングが命**

# 知識工学からオントロジー工学へ

## ■ 知識工学は

- ドメインに固有で, 専門家の経験則を対象にして, 孤立した問題解決器のための知識ベースを研究

## ■ オントロジー工学は

- 一般的で, 再利用・共有ができて, 長期間利用できる概念を研究;そしてそれは人々が問題解決をするのを助ける

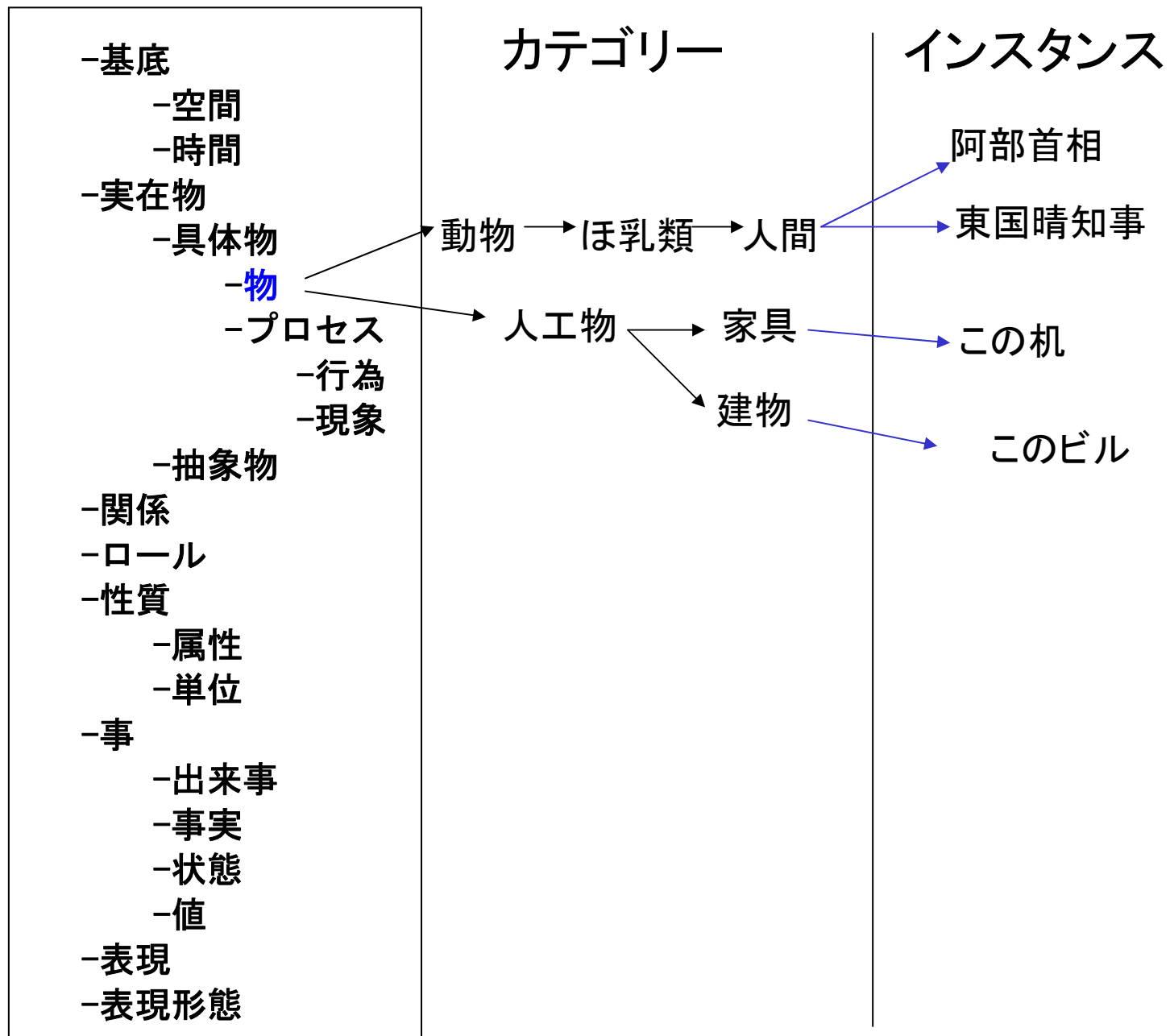


# オントロジー工学

# オントロジーとは？

- 哲学: 存在に関する体系的な理論(存在論)
- 人工知能: An explicit specification of conceptualization
- 人間が対象世界をどのように見ているかという根元的な問題意識を持って物事をその成り立ちから解き明かし、それをコンピュータと人間が理解を共有できるように書き記したもの
- オントロジーは、諸々の知識を客観的な存在の諸相を明らかにする立場から、**特定にタスク構造には依存しない形で構造化する**

# トップレベルオントロジー



# オントロジーの利用とメリット

## ■知識をオントロジーに基づいて記述すると...

### ➤知識の記述が容易になる

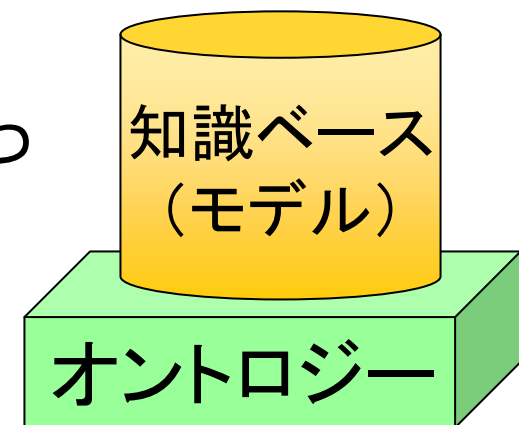
- どのような観点から対象を捉えるかが規定されている
- 用いる概念・語彙が事前に用意されている
- 制約違反を自動的にチェックできる

### ➤記述された知識の「質」が向上する

- 概念の統一や観点の一貫性が保てる
- 他人が記述した知識を理解する際に役立つ
- 知識を変換することができる

### ➤知識を共有できる

### ➤知識を再利用できる



# 知識の組織化

## ■ 領域知識の組織化は領域の専門家の手で

### ■ 教科書, 論文など

- 人間のための組織化
- 分野固有の概念の発達
- 一般性に欠ける

## ■ 情報科学者 (領域を持っていない) が関与する組織化

### ■ 知識ベース

- コンピュータにも分かる組織化
- 分野独立性を意識
- 高い領域共通性



# 知識の組織化 (続き)

## ■ 組織化の要件

- 基盤となる概念の整備
- 概念間の関係を定め, その概念世界における概念の「位置」を明確化
- 更に必要となる関係を特定
- 知識の利用フェーズを想定して, **利用に関わる概念を** 深化させる
  - **問題の深い考察**
  - **問題解決方式知識の組織化**

# オントロジー工学の例

- 機能オントロジーと機能モデル(来村准教授)1993～
  - Barry Smith教授と機能オントロジー論議+産業界で実用(SOFAST)
- 機能構造記述共有ツール*OntoGear*(高藤特任教授)2005～
  - XML統合環境: *xFy*上のツール+思考革命を支援する
- オントロジー構築・利用環境「法造」(古崎助教)1996～
  - ロールを容易に表現できる唯一のツール+分散開発環境
- モバイルユーザ行動オントロジー(笹嶋助教)2004～
  - モバイル端末インタフェース革命: **タスク指向インタフェース**
- 学習・教授理論オントロジー(林特任助教)1996(2000)～
  - 学習・教授理論-awareオーサリング環境
- ナノテクオントロジー(古崎助教)2001～
- サステナビリティ学オントロジー(熊澤特任助教)2006～
- 医療オントロジー(新任特任教員)2006～
  - 我が国初めての医療オントロジー+東大医学部の大江教授
- オントロジー基礎論(溝口)1996～



# 機能オントロジー

## 振る舞い，機能，自動詞，他動詞，etc.

- 1992年頃から2年間程 機能とは？ を悩み続けた
- 目的もなく，ただ面白いから，機能を分かりたいから
  - 学生：「この研究どうなるのでしょうか．．．」
  - 溝口：「さあ．．．とにかく面白いだろ？」
  - 学生：「論文が書けないのではと心配なんです」
  - 溝口：「面白いからもう少し続けようよ！」
  - 学生：「．．．．（心配だな．．．）」
- 回転する，歩く，押す，回す，気化する，変換する，暖める，溶接する，切る，達成する，維持する，駆動する，防ぐ，etc.

# 装置と機能

## ■ 装置の例

- 発電機
- ヒーター
- 扇風機
- 時計
- レール
- 溶接機

## ■ 機能の例

- 電気を生成する
- (部屋, 空気, 人を) 暖める
- 空気を動かす, 涼しくする,
- 計時する, 時を示す
- ガイドする
- 溶接する
  
- 歩く
- 育てる, 殺す

# 機能レベル知識の重要性

- 機能, Functionは人工物のidentityを与える
  - 機能統合性
- How a machine works:この回答は機能構造にある
  - 人の機械を「理解する」レベルは機能レベル
- タスクに依存しない高い一般性(汎用性)
- しかし,
  - 機械の機能構造の同定は自明ではない
  - 機能に関わる諸概念の整備が未熟
  - 機能を体系的に記述する枠組みがない

# 中心となる概念

## 従来の知識ベース・知識工学

### ■ デバイスオントロジー

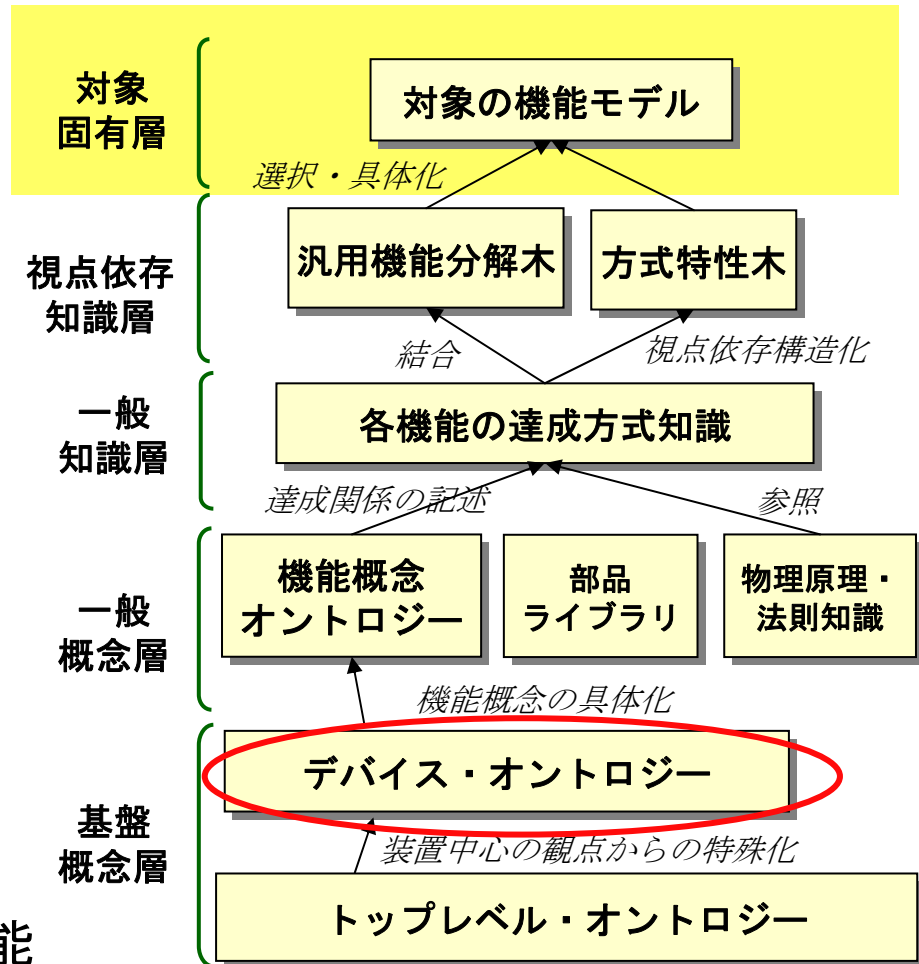
- Agent, 対象物
- デバイス(agent), 導管, 流れるもの(対象物), 媒体

### ■ 機能モデリング

- 振る舞いと機能
- メタ機能と機能タイプ
- 機能分解
  - ・ 方式と方法

### ■ 知識のモデリング

- *Is-a* 階層: 機能と方式
- *Part-of* 階層(*is-achieve-by*): 機能



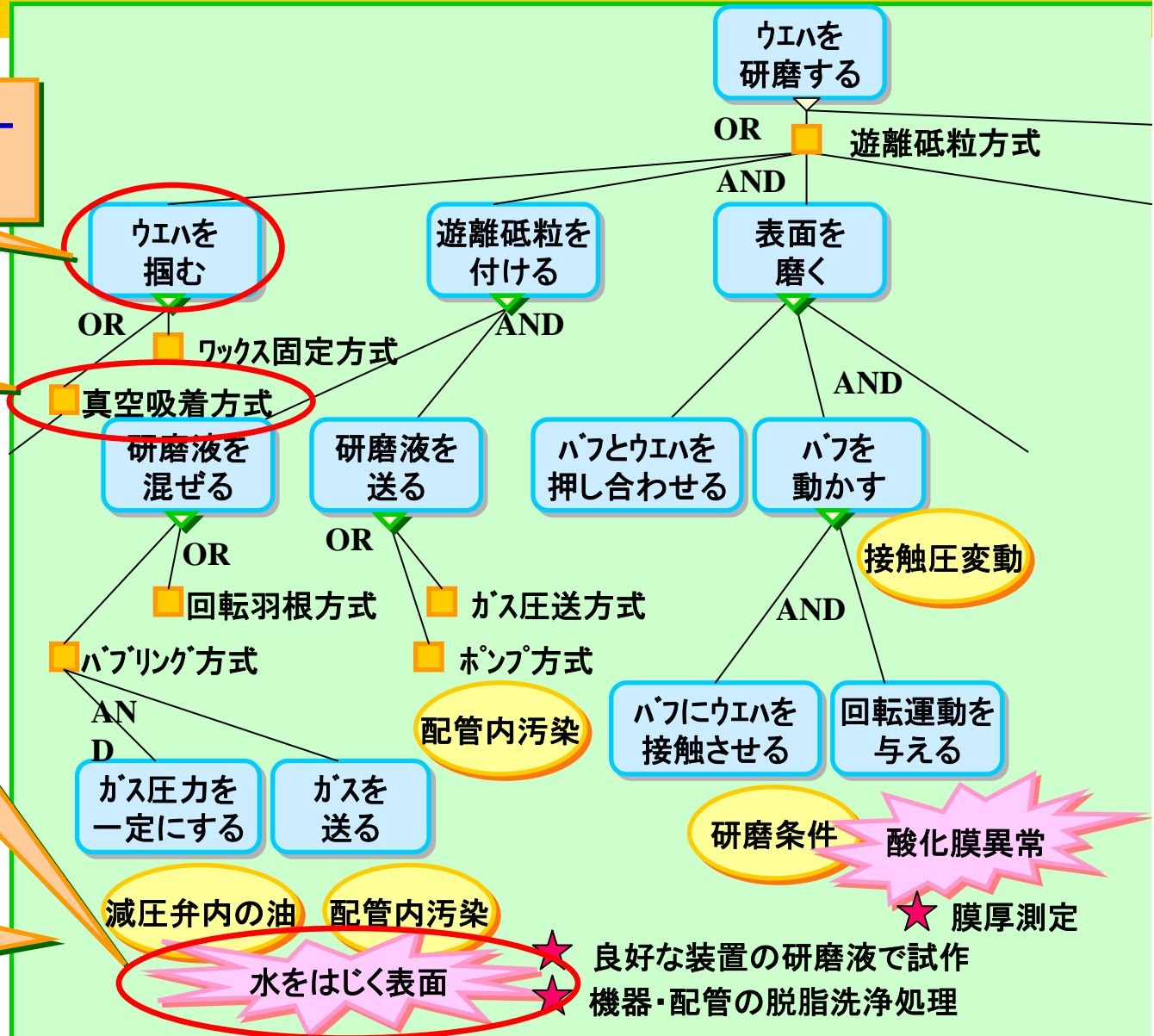
# 問題解決のアプローチ（機能オントロジー）

- デバイスオントロジー
- 機能概念

● 方式概念

● 不具合事象  
(補助機能)

● 機能分解木の記述ガイドライン





# 拡張デバイスオントロジー

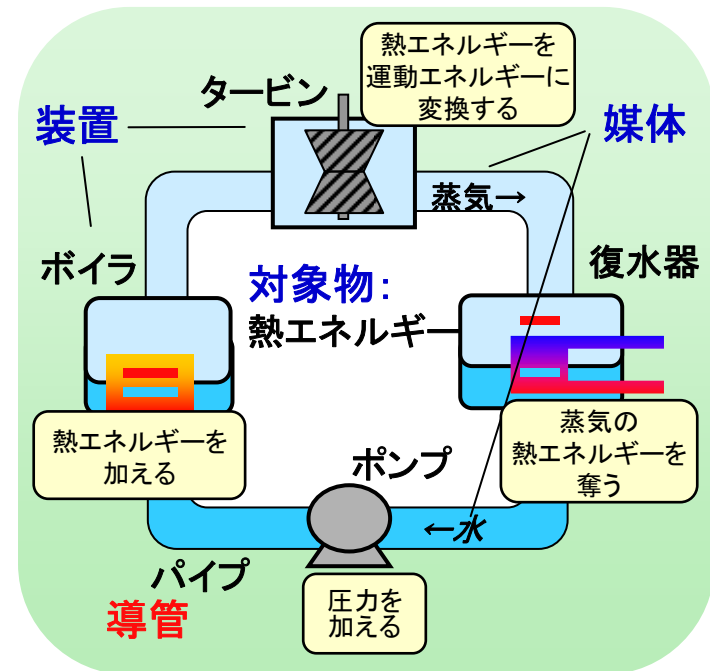
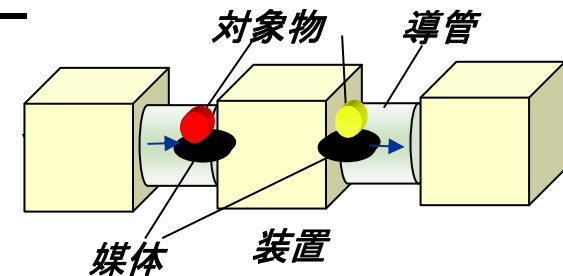
## ■ 装置を中心として対象を捉えるオントロジー

### ■ 要素の果たす役割(ロール)

- **装置** = 主体
  - 対象物に作用して, 変化を起こすもの.
- **導管** = 準主体
  - 理想的には対象物の位置のみを変化させるものとみなせ, 他の変化を無視しても問題が生じないもの
- **対象物** = 客体(被作用物)
  - 装置内と間を「**流れる**」と認識されるもの
- **媒体** = 保持者
  - 対象物を保持し, 「流れ」を可能にするもの
- **接続**

### ■ AI分野におけるもの [de Kleer 84] を拡張

- 流体系が主な対象
- 機構系にも適用可能



火力発電プラントにおける  
ロール割り当て例

# 4つの振る舞い概念

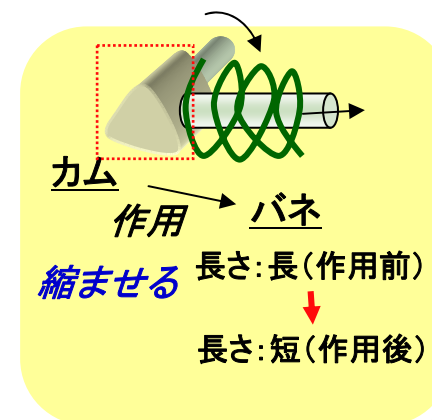
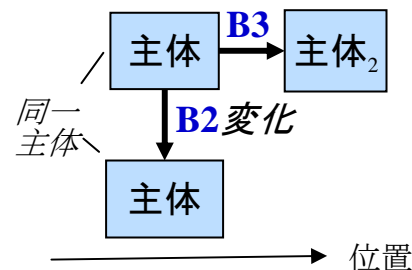
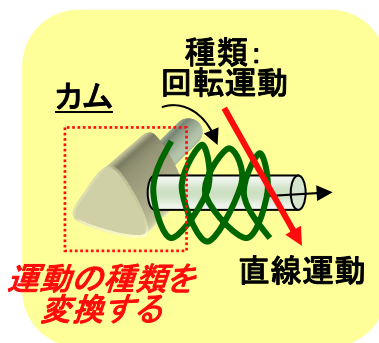
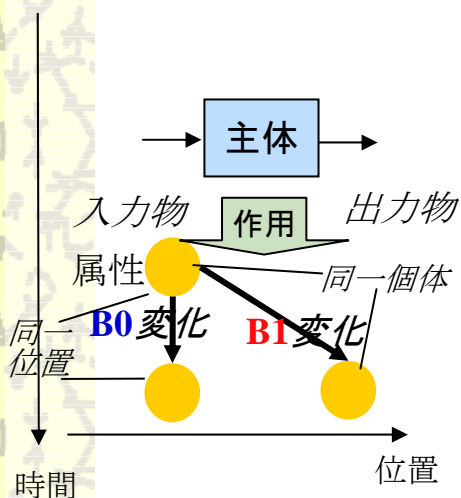
## 機能＝振る舞いの目的論的解釈結果

例：熱交換機

振る舞い＝熱移動

機能＝ [低温流体に注目] 暖める or [高温流体に注目] 冷やす

- 位置同一性に基づく変化の認識 (B0). シュミレーシヨンの.
- 対象物同一性に基づく変化の認識 (B1) 因果理解的.
- 機構素が自分自身を運動させる(もしくは、運動しない). (B2)
- 機構素が他の機構素を運動させる(もしくは、運動を制約する) (B3)



# 機能概念オントロジー

## ■ 3種類に分類

- 概念数: 約120

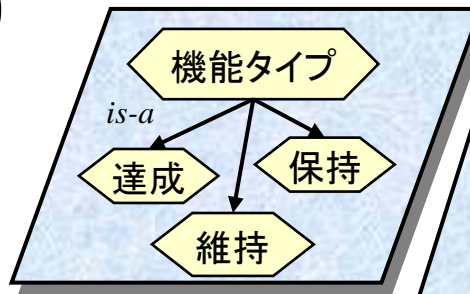
## ■ 特徴

- 一般性
- 明確な定義
- 意図(解釈)を表現する

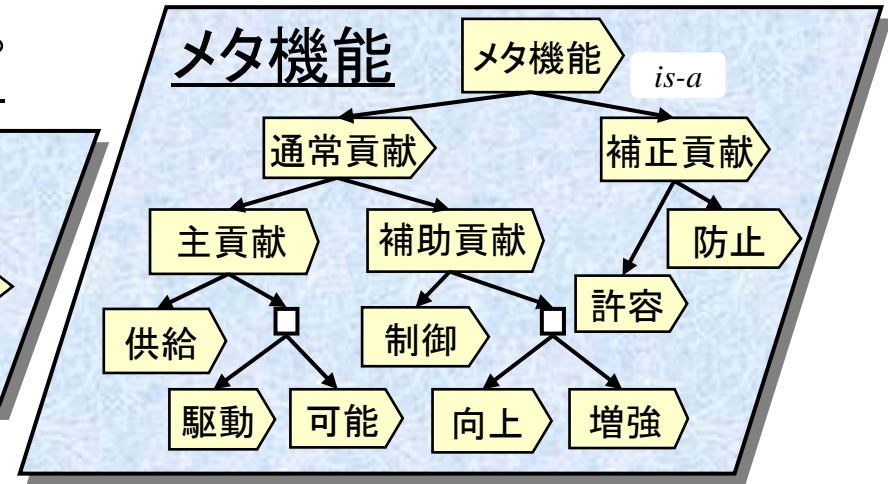
## ■ 従来研究

- Generally valid functions [Paul and Beitz 84]
- Bond graph
- Function type [Keuneke 91]
- 価値工学 [VE協会 81]

### 機能タイプ



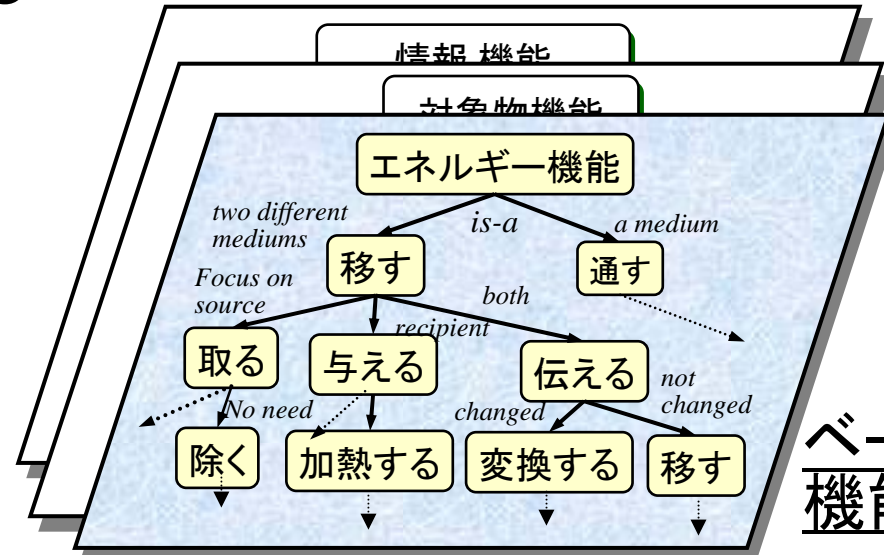
### メタ機能



### 情報機能

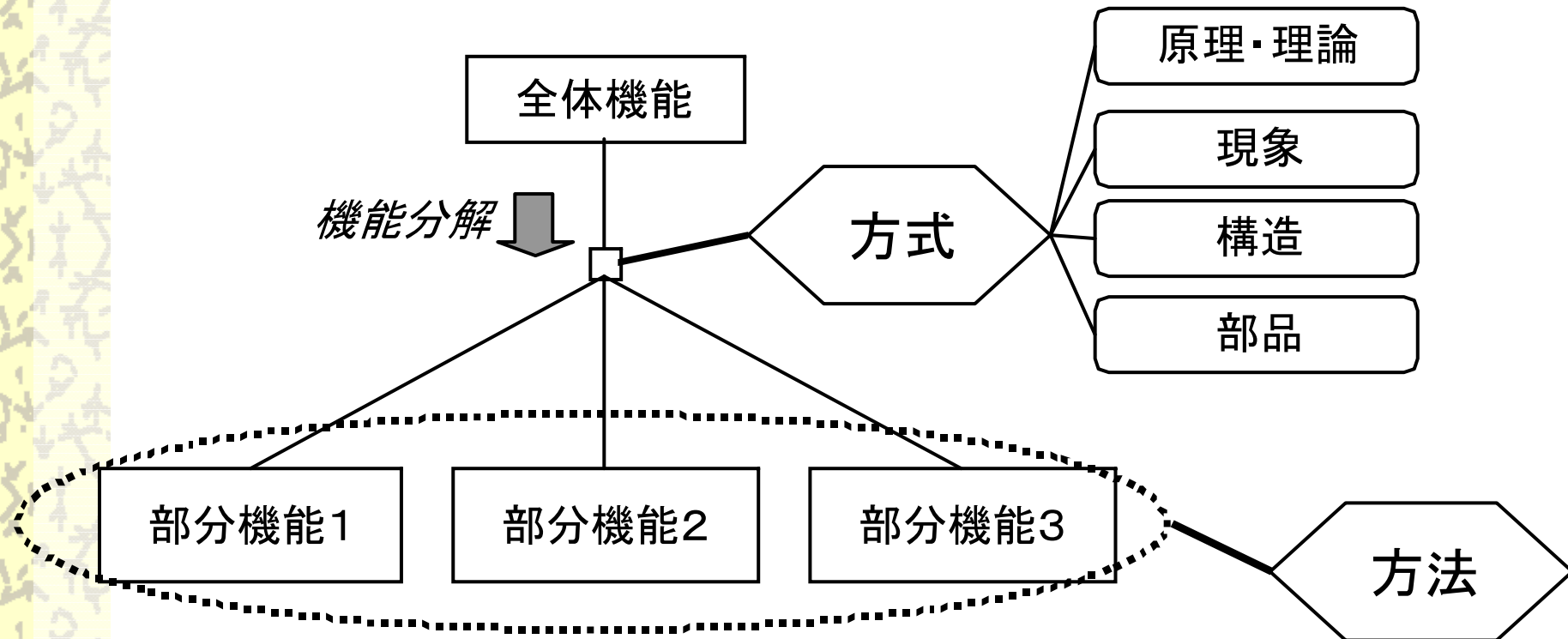
### 社会物機能

### エネルギー機能



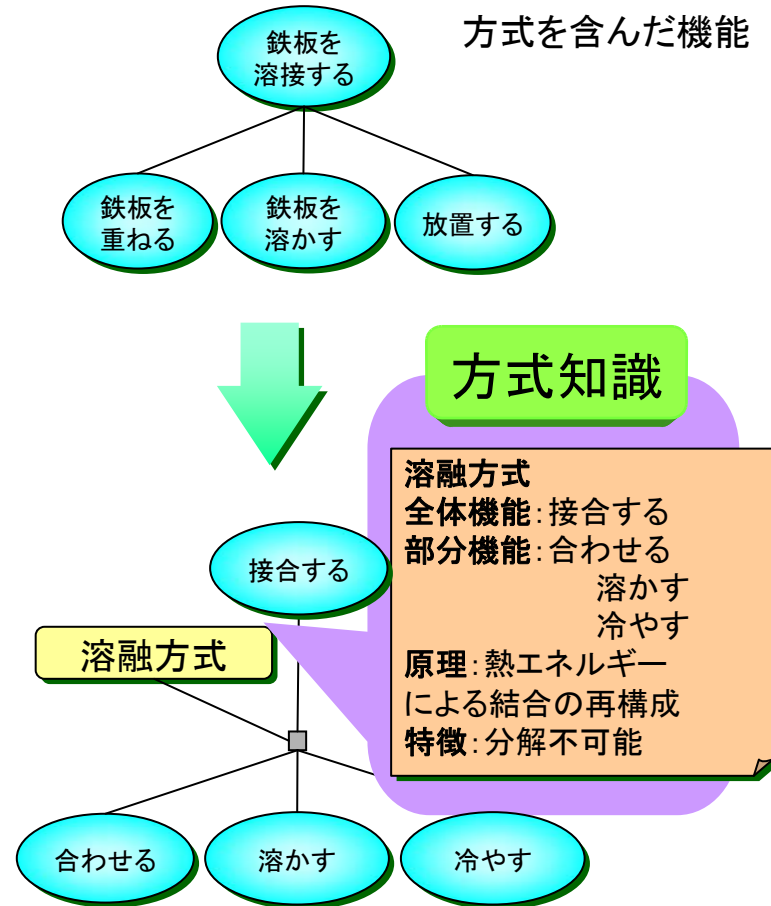
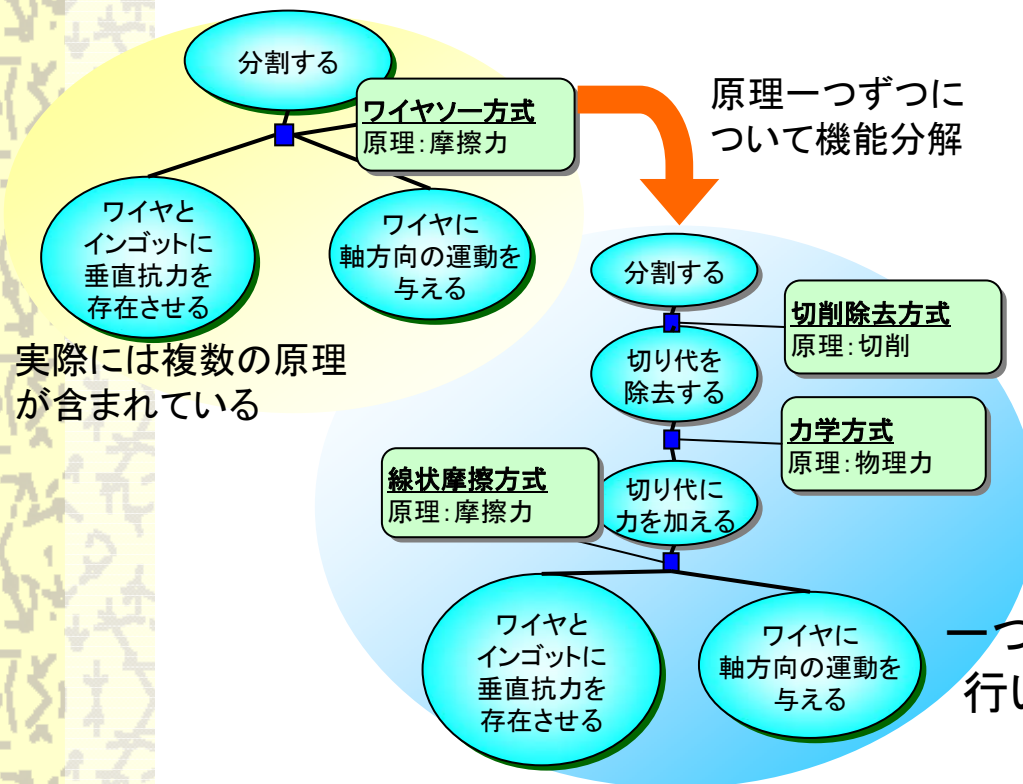
### ベース機能

# 機能分解：方式と方法



# ガイドラインと方式概念の効果

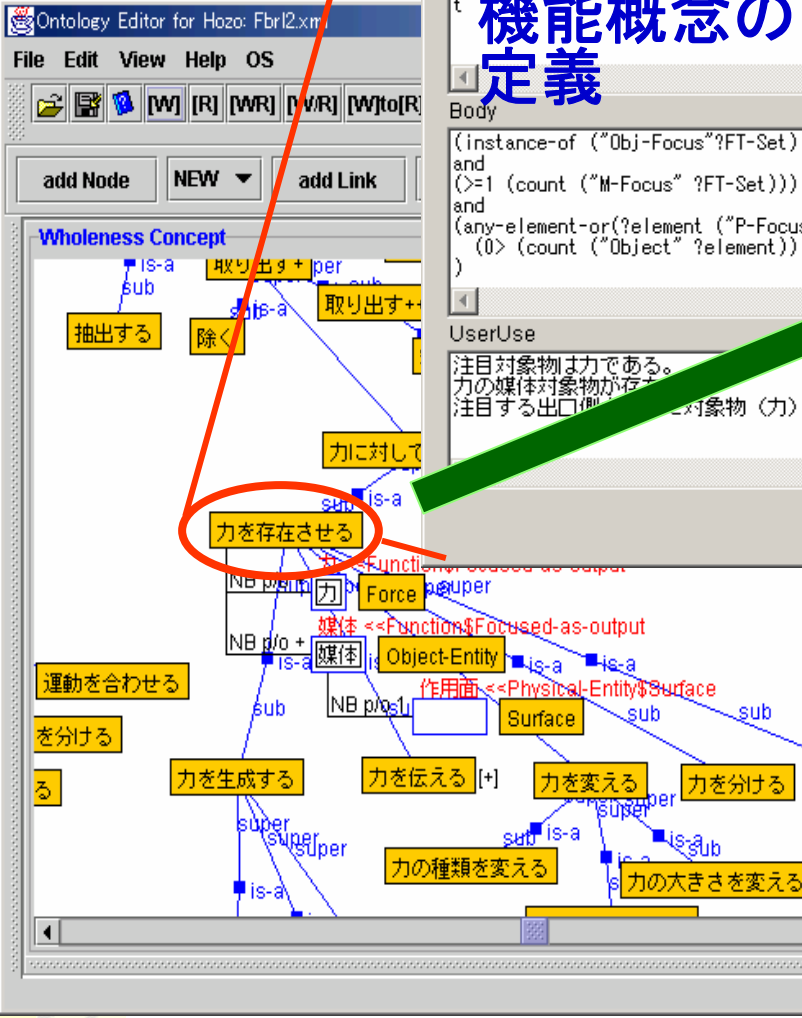
- 機能から(実現の)方式を分離する
  - 溶接する(機能+方式)
    - 接合する(機能)+溶融方式(方式)
- 方式は一つの原理を表す



一つの原理に基づいて機能分解を行い、方式を作ることで組合せの数が増える

機能的設計知識  
記述環境

機能概念  
オントロジー



存在させるのクラス公理入力

Axiom Name: 存在させるのクラス公理

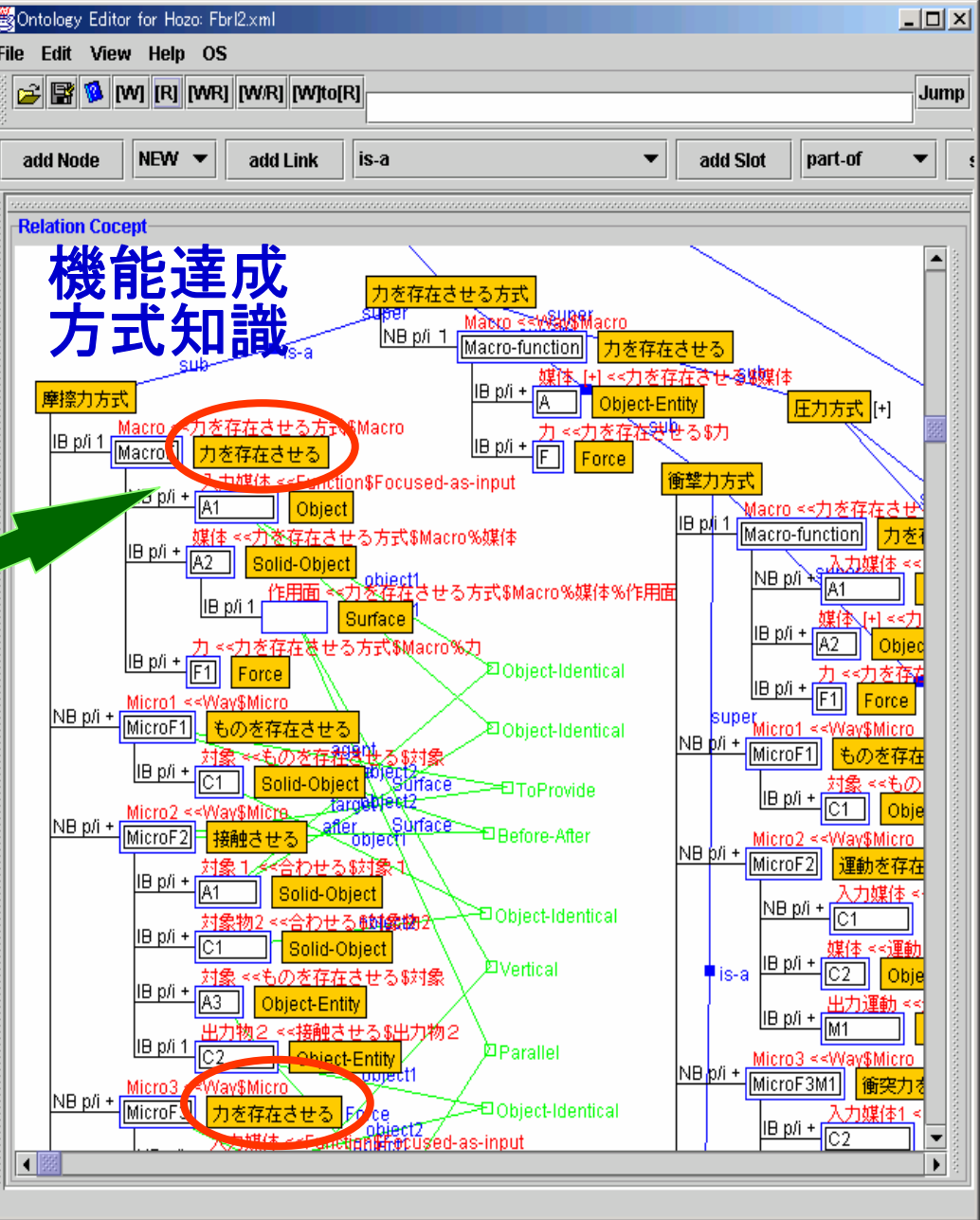
Participants: (?存在させる "存在させる" (?Performing ("Performing" (?Realizing ("Realizing" (?Focused-as-input ("Focus

Condition: t

Body: (instance-of ("Obj-Focus"?FT-Set) and (>=1 (count ("M-Focus" ?FT-Set))) and (any-element-or(?element ("P-Focus (0) (count ("Object" ?element)))

UserUse: 注目対象物は力である。力の媒体対象物が存在する。注目する出口側は注目対象物(力)

機能概念の  
定義



機能達成  
方式知識

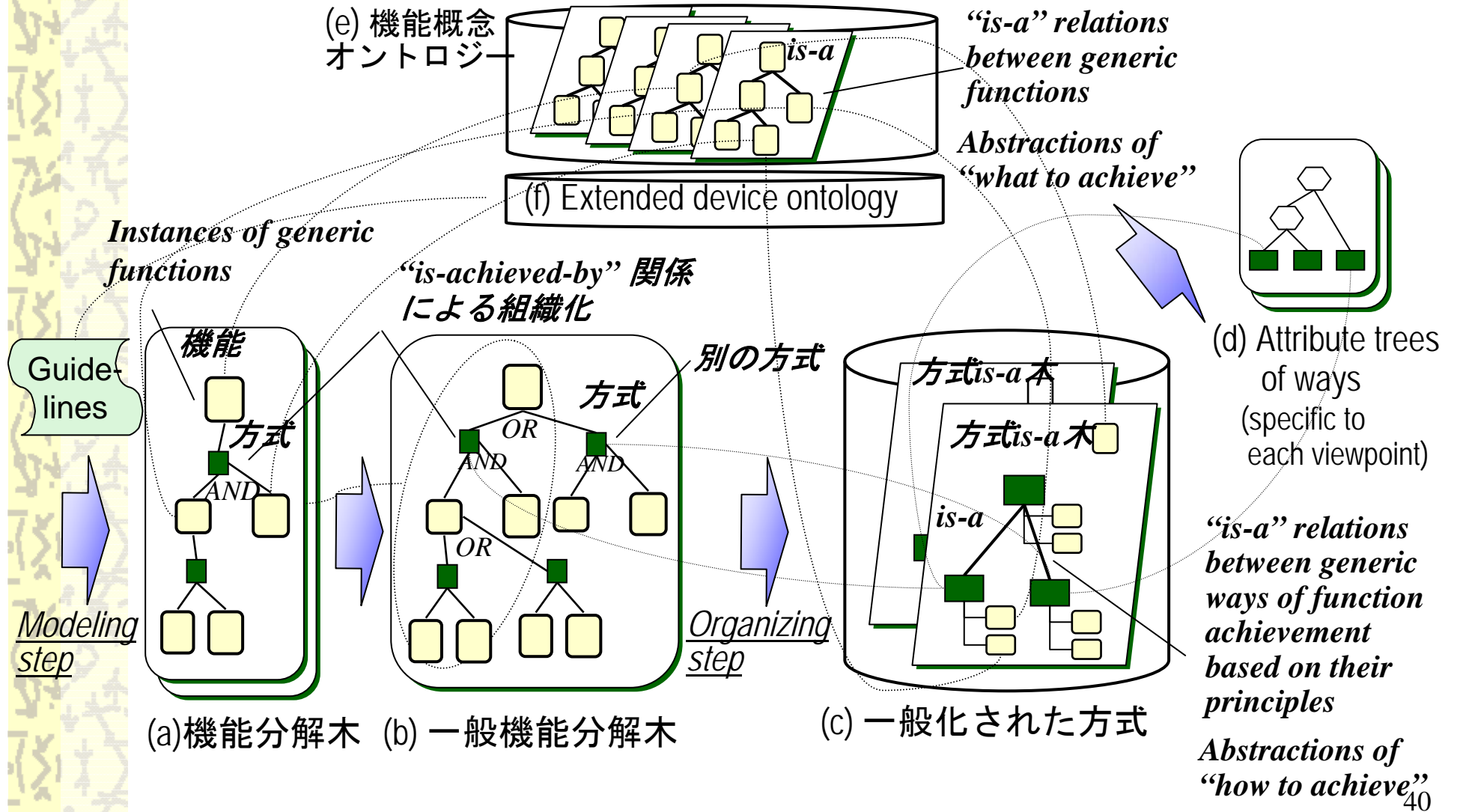


# 実用例

(少なくとも)日本で初めてのオントロジー工学の実用例

住友電工(株)生産技術部の技術者が持つ,装置に関する機能的知識の共有・再利用の試み

# オントロジーに基づくモデルの枠組み







# 機能・方式記述の適用実験と評価

- 平成12年度1年間の勉強期間をおいて13年度5月より試用開始。  
平成14年度より実用展開開始。9月に支援ツール第1版を実用開始  
平成15年3月よりSOFAST Users' groupの結成(13社)
- 対象:半導体生産工程, 生産装置
  - 適用対象(103): インゴット切断装置(ワイヤソー, 内周刃),  
張力制御装置, エッチング装置, 結晶成長炉設備, ウエハ研磨装置,  
ウエハ薄膜成長装置(ガス炉, 分子ビーム装置),  
光ファイバー・光軸調芯機, ドリル刃先検査装置,  
プリント回路外観検査装置, その他
  - 生産技術の共有, 品質管理(不良原因の網羅的列挙)
- 評価
  - 極めて良好
- 住友電工内部で「社長賞」を受賞(1/8000の競争率)

# 適用事例の成果

課 題	通常業務の進め方に対する適用効果
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 特許明細書の作成 請求項の広範囲化</li> <li>2. 明細書作成期間短縮</li> <li>3. 品質不良問題解決</li> <li>4. 設備故障原因究明</li> <li>5. 外観検査画像処理の 開発期間短縮</li> <li>6. 設備開発の方針決定</li> <li>7. 検査装置の性能向上</li> <li>8. 作業時間分析</li> <li>9. 設備費低減</li> <li>10. 新構造・機構の開発</li> <li>11. ラインの改善</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆特許明細書の請求項が<b>4項</b>→<b>7項</b>に広範囲化</li> <li>◆従来 <b>3~4週間</b>→ <b>1週間</b> (パテントマップ化)</li> <li>◆<b>4ヶ月間</b> 原因不明の問題を<b>2週間</b>で究明でき解決</li> <li>◆<b>5ヶ月間</b> 長大ラインで未解決品質問題が<b>3週間</b>で解決</li> <li>◆毎回発生していたトラブルが<b>3ヶ月</b>経っても解決せず 機能分解木により原因究明し<b>5日間</b>で解決</li> <li>◆ベテラン技術者の蓄積したデータベースにより、 新人技術者が方式選択してソフト開発が完了 <b>通常2週間</b>→新人でも<b>3日間</b>で完了</li> <li>◆デザインレビュー実施回数の低減 <b>通常3回</b>→<b>1回</b>で決定</li> <li>◆過去の方式サーバから改善案 誤検出率 <b>1/10</b></li> <li>◆要素作業時間の組み合わせから最短作業方法決定</li> <li>◆設備を機能分解し要素部品、構造の価格を積算 価格最小の組み合わせ案を抽出</li> <li>◆人の動作を機能分解して自動機を検討することで 自動化開発に成功</li> <li>◆<b>社長賞</b>を受賞(競争率1/8000)</li> </ul>

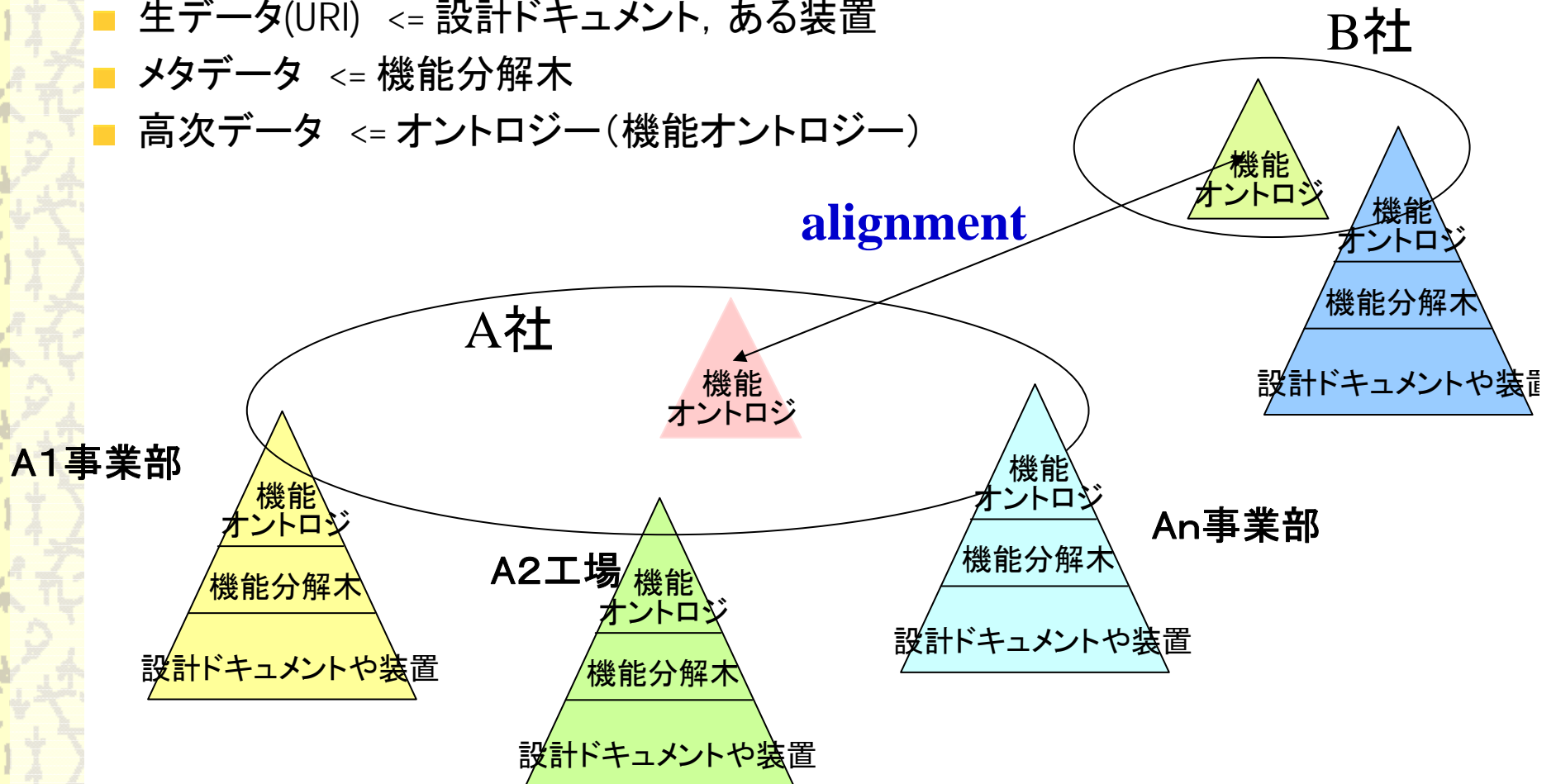
# 方式知識を利用するメリット

- 機能概念の共通性を増す
  - What to achieve (機能) と How to achieve (方式) の分離
- 方式代替による発想支援
  - 新しい方式を計算機で検索し、置き換えることで発想を支援
  - 方式知識を一般化して整理することで、異なる領域の知識を再利用可能
- 設計思考過程の明示化
  - どの方式を選択したか (木の“OR”の部分でどれを選択したか) で **設計意図** を表現
  - 過去の成功・失敗事例を分析し、**効率的な発想** が可能
- 複数事例間の相違点の明示
  - 選択されている方式の組み合わせかを比較することで、複数事例間の **相違点を明示**
  - **特許情報** の分析などに貢献

# セマンティックWebとして眺めれば...

## ■ セマンティックWeb

- 生データ(URI) <= 設計ドキュメント, ある装置
- メタデータ <= 機能分解木
- 高次データ <= オントロジー(機能オントロジー)





# オントロジー工学と研究スタイル

# 私が好きな研究のスタイル

- 面白いことを突き詰めてやる
- 研究者心をくすぐる研究をする
- 自分でないとできないような研究をする
- 研究資金の獲得とか成果報告に追われる中で、子供のように純粹で飽くなき好奇心を失わない
- 流行に流されない、(中)長期的展望を持つ
  - 溝口研究室は「知識」に取り組んで25年
  - 知識(工学) => オントロジー(工学)
- すぐに結果が出ること「も」考慮してテーマ設定をする
- 成果の積み重ねの結果として、本質的に役に立つ成果を出す

# オントロジー工学の例(再掲)

- 機能オントロジーと機能モデル(来村准教授)1993～
  - Barry Smithと機能オントロジー論議+産業界で実用(SOFAST)
- 機能構造記述共有ツール*OntoGear*(高藤特任教授)2005～
  - XML統合環境: *xFy*上のツール+思考革命を支援する
- オントロジー構築・利用環境「法造」(古崎助教)1996～
  - **ルール**を容易に表現できる唯一のツール+分散開発環境
- モバイルユーザ行動オントロジー(笹嶋助教)2004～
  - モバイル端末インタフェース革命: **タスク指向インタフェース**
- 学習・教授理論オントロジー(林特任助教)1996(2000)～
  - 学習・教授**理論-aware**オーサリング環境
- ナノテクオントロジー(古崎助教)2001～
- サステナビリティ学オントロジー(熊澤特任助教)2006～
- 医療オントロジー(新任特任教員)2006～
  - **我が国初めての医療オントロジー**+東大医学部の大江教授
- オントロジー基礎論(溝口)1996～



# オントロジー工学研究の特徴

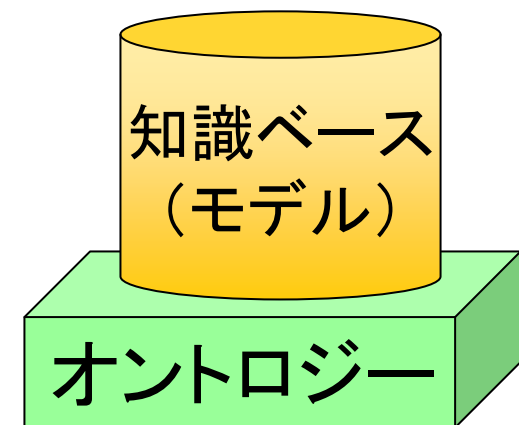
- 解きたい問題をすぐに解こうとしない
- その問題の本質を見抜くことに注力
- それが存在する領域, 問題の構造を理解する
- 長期的展望を持つ
  - 難しそうな問題を対象にする
  - 当分解けなくても, 面白い間は頑張っ

# じっくり深く考える

- Object／Process／Eventの違いに関する哲学的考察をイギリスの哲学的教授と共同研究
- 上位オントロジーの新しい構成には役に立つでしょうが、**当面は何に役立つか全く分かりません。**
  - オントロジーの根幹に関わる事項で、深い考察が必要
  - 滅茶苦茶楽しい！

# オントロジー工学総括

- 知識に関する根元的な理論を構築し、知識を適切に扱う技術を提供する
  - 内容指向研究の成果が「積み上がる」ことを可能にする
  - 対象とする世界の本質的な問題・構造が明らかになる
  - 基礎から応用までを内包する懐の深い研究
- 
- 知識科学の進歩に貢献しつつ、  
実社会が解いて欲しい問題を解く



# 役に立つ研究(再掲)

- 研究者は何をしたいのか？
  - みんなが解いて欲しい問題を解きたい
  - 努力の結果であることが分かる様に解きたい
  - 科学者, 研究者として尊敬されたい
  - 学問の進歩に寄与したい(知識の蓄積)
- 多くの問題は
  - 豊富な知識と不断の努力と卓抜な着想が必要
- 役に立つ研究 ≠ 結果が見える研究
  - 役に立つ研究 → 結果が見える研究(多くの場合 真)
  - 役に立つ研究 ← 結果が見える研究(多くの場合 偽)
- 何の役に立つか
  - 実社会の問題の解決 → 応用研究(たぶん)
  - 学問上の問題の解決 → 研究一般
- いつ役に立つか
  - 長期 vs. 短期
  - 長期的展望 → 成果の蓄積が必要
- 基礎研究 VS. 応用研究

# 研究の評価について一言

1. 簡単に評価できる研究って良い研究なのでしょうか？
2. 論文に評価がなされていない, と言ってRejectすることは絶対的に正しいことなののでしょうか？
3. 自分が価値を評価できないので本人に評価を任せてしまっていることにはならないのでしょうか？
4. 評価がすぐにはできない面白い研究の芽を摘んでいることになっていないのでしょうか？
5. そもそも自分が論文を読んで参考になる論文, また読み返したくなる論文って, 評価が立派なことが必須でしょうか？
6. 読んで面白かった, ためになった, という論文は自分の研究者心をくすぐる内容があった, そうだったのか! という目から鱗的新事実, 新解釈があった, 参考になる面白いアイデアがあった, 等ではないのでしょうか？

## 最後に

- オントロジー工学の「心」を述べました
- 学界の力は本質的にWeb2.0的
  - 多様性, 自律性は本質的に重要
- 時代に即した集中的な研究も必要でしょうが, 研究レベル全体はボトムアップに高まっていくべきもの
- 基礎体力をつけることも必要
  - 研究(者)全体の層の厚さ
  - 基盤となるところはしっかり押さえた, 深い研究は不可欠
- 学会はその環境を整えるというお手伝いをするのが使命

# 補足

## ■ 論文の構成について

- 解きたい問題を明らかにする。
  - どういう問題か
  - なぜその問題が重要であるのか
  - 解くとどのような良いことがあるか
  - その問題の位置づけ
- どのように解くのか(なぜ解けたのか)
  - 導入した新しい概念(方法)の説明
  - どのように新しいのか
  - 何を前提として、どのようにその概念(方法)が問題の解決に貢献するのか
- 関連研究
  - 関連研究との比較による研究成果の位置づけと意義付け
- 残された課題
  - 起こりえる問題点
  - 特に設定した前提や仮定の妥当性, その緩和により生じる困難さ
  - 将来の方向
- 評価は不可欠ではない