

# ユーザー指向の システム設計手法

- 複雑系を乗り越なす -

筑波大学大学院ビジネス科学研究科

倉橋節也

# 目次

- システムは複雑系
- Control vs. Harnessing
- 多様性・相互作用・選択
- 事例：
  - 制御ビルダ
  - 触媒実験
  - 粉体計量
  - 熟練者の知識発見

# S社のエレベータ



mixi こやまさん

東京工業大学すずかけ台キャンパスJ2棟

## エレベータ写真

mixi こやまさん

## ケーブル写真

J-CAST News

ケーブルがはみ出ている

約15分かけて9階まで上がる

10分間学生が閉じ込められる

パネルの23階が表示される  
(J2棟は20階までしかない)

エレベータが通り過ぎていく

# システムは複雑系

- 複雑なシステムは、どう設計しているのだろうか
- 計画時に予想した設計だけをしているのではないか
  - 実際は、予想を超える現象が生じている？
- そもそも複雑なシステムは制御可能なのか？
- 複雑系(システム)とは？

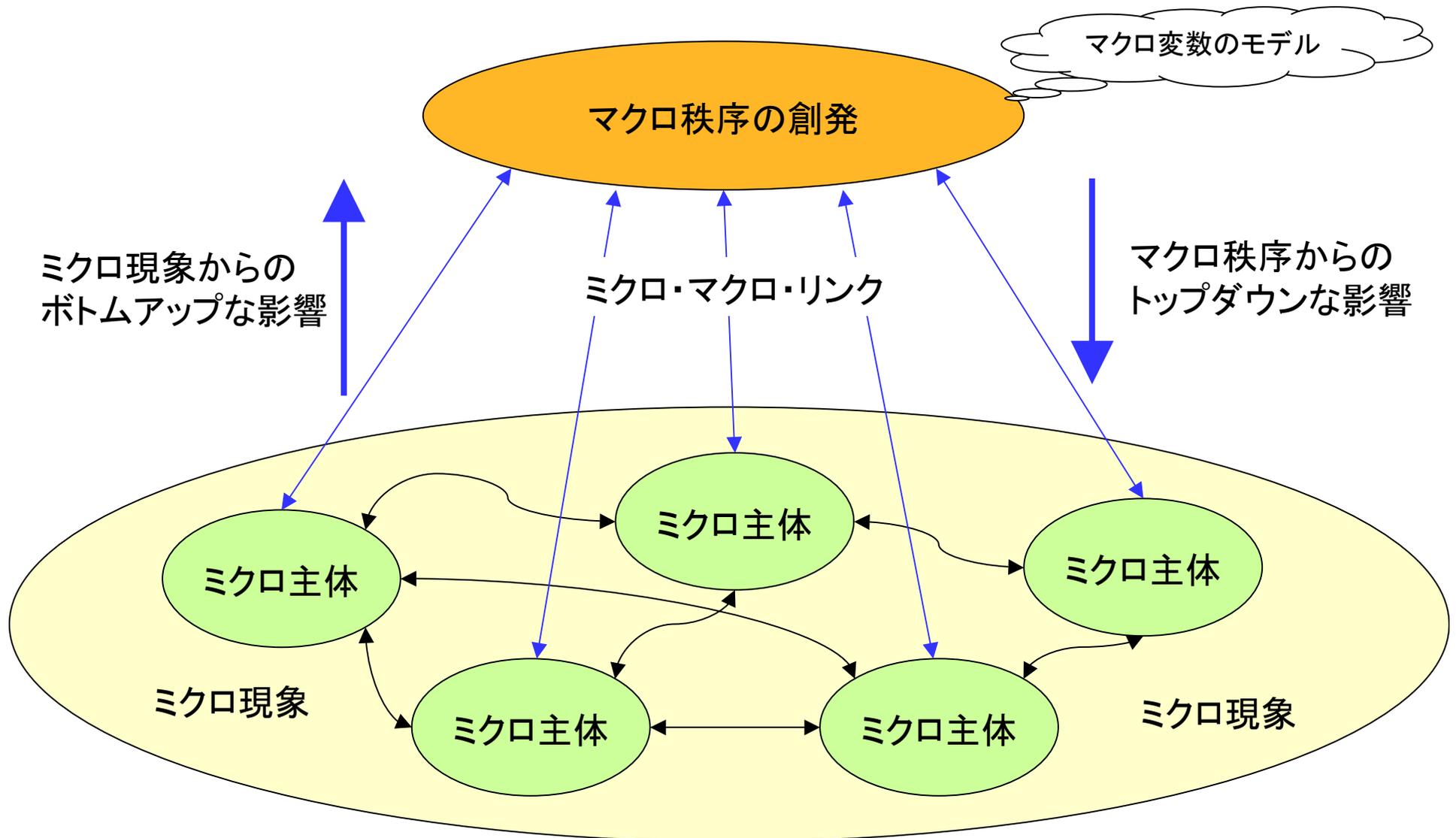
## 複雑系とは

- Wikipediaの説明では、
  - 多数の因子または未知の因子が関係してシステム全体の振る舞いが決まる系
  - それぞれの因子が相互に影響を与えるために、一般的な手法(多変量解析等)でシステムの振る舞いを予測することが不可能な系
  - 代表的な複雑系は、ウイルスの流行状況、天候、経済、大規模交通、バタフライ効果など

# 複雑システムの要素

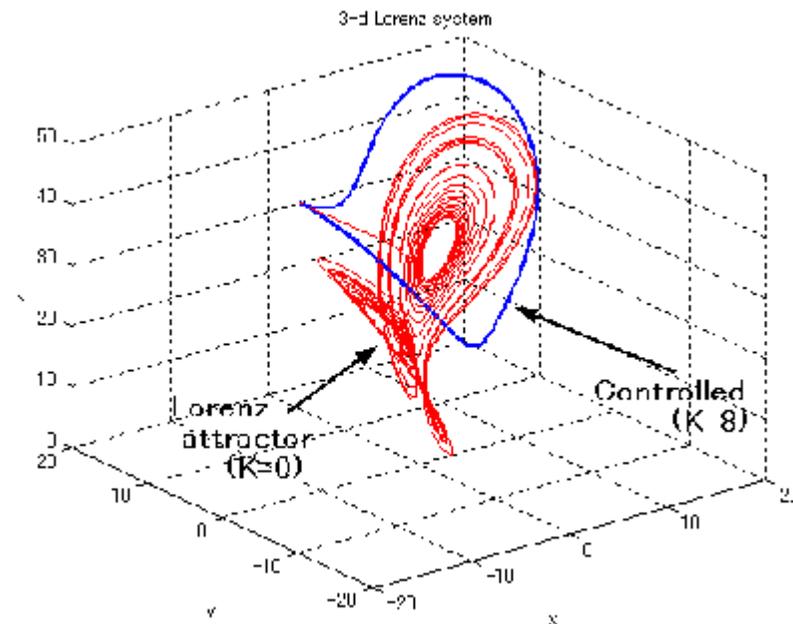
- Axelrodの定義  
「相互作用する多数のエージェントによって構成されるシステム」
  
- 複雑系の要素
  - エージェント(個体群)
    - 他のエージェントや外部環境と相互作用する能力を持つ
    - 人間、家族、従業員、顧客、企業、国家
  - 戦略
    - エージェントがまわりに反応しながら目標を達成するための方法
    - 製造、販売、購入
  - 人工物・環境要因
    - 装置、製品、稼働時間など

## マイクロ・マクロ・リンク



# 複雑システムは制御できるか

- **カオス制御**
  - カオスアトラクタの不安定周期軌道に近づけるように「制御」する
    - OGY法, Pyragas法など
  - カオスまではなんとか持っていける
  - ただし, 現象がカオスであれば!
- **複雑システムは, 制御できない!**
- **ではどうするのか**



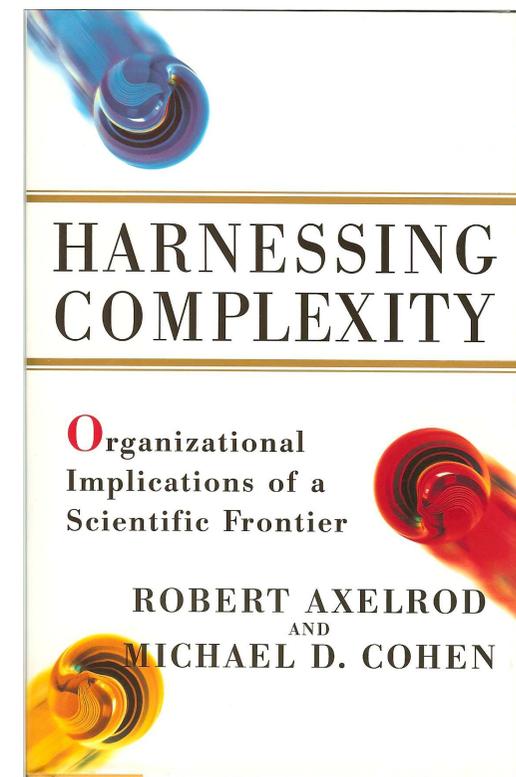
赤: 制御を加えないローレンツアトラクタの振る舞い  
青: 制御を加えたローレンツアトラクタの振る舞い

# Control vs. Harnessing

- 複雑システムはControl(制御)するのではなく、Harness(活かす・馴らす)もの



写真: 平松氏提供



HARNESSING COMPLEXITY  
R. Axelrod and M. Cohen

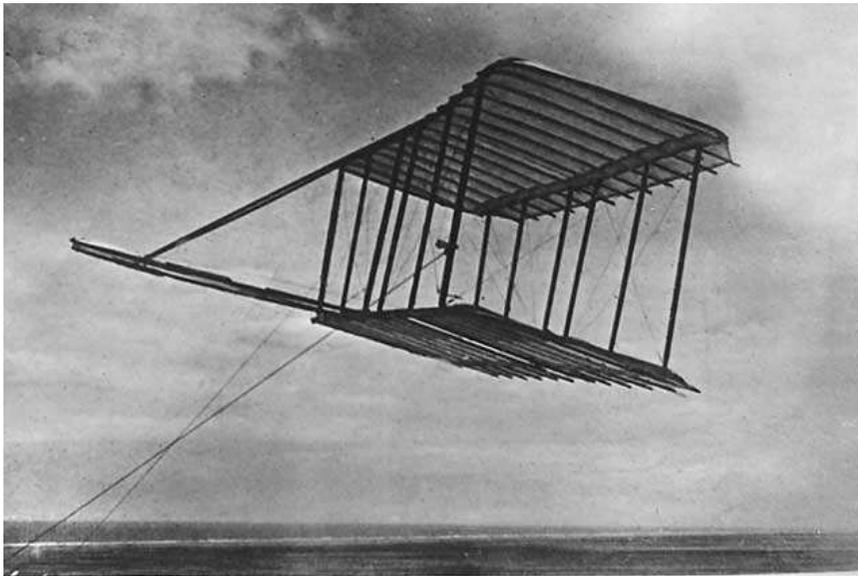
# 複雑システムを御す方法

- **複雑システムの代表格：生体**
  - 進化の仕組みに「馴らし方」が埋め込まれている
- **多様性(Variation)**
  - 少し間違っってコピーする
- **相互作用(Interaction)**
  - 別の人に会う
- **選択(Selection)**
  - 上手なものを採用する

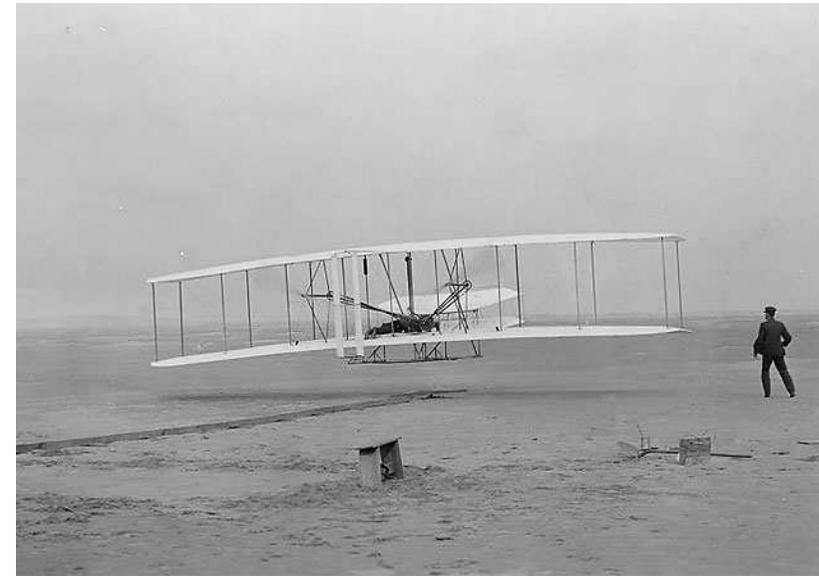
# 多様性

- その時点で最適ではないものが、長期的には重要な役割を演じる
  - 熟練者の知恵が生きるのは、何年かに一度のトラブルのとき
  - 平時のリーダー, 有事のリーダー
  
- 複製エラーを大事に
  - 突然変異
  - インクジェットの原理は、偶然故障したスポットの使用
  - 日米欧アジアをめぐる自動車産業の品質管理(QC & QM)
  
- 再結合は成功の可能性が高い
  - 交叉
  - 発明は、既存の技術を組み合わせることから始まる

# ライト兄弟



WetWing.com



WetWing.com

- ライト兄弟は、凧とエンジンを組み合わせた
- たわみ翼、垂直尾翼、水平安定板、方向舵の発見
- 翼、動力源など、過去の設計物のマイナーチェンジ、合成、取捨選択(Cohen 1982)

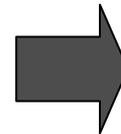
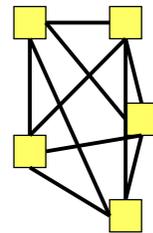
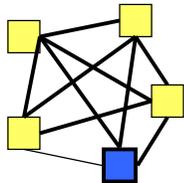
# 相互作用

- エージェントに追従する
  - 近くにいることで相互作用が生じる
    - SONY Walkmanの開発と普及
  - 徒弟制度
  - 注意点:色に染まりすぎる
  
- 信号に追従する
  - 望ましい信号(先端技術・ファッション)を探して移動する
  - セミナーに参加する
  - 注意点:信号に騙される
  
- 活性化
  - リーダーからの一方的な通達は相互作用ではない

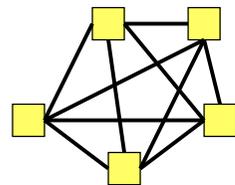
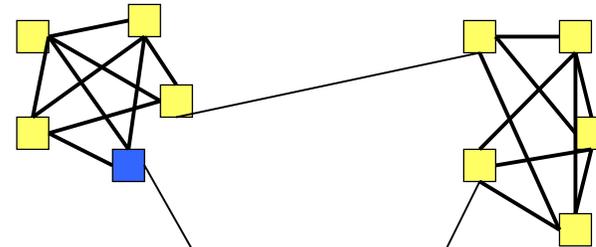
# 「弱い絆の強い力」理論

Granovetter 1973

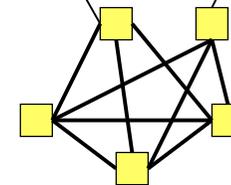
総リンク数  $10 \times 3 = 30$   
接続先 4人



総リンク数  $9 \times 3 + 3 = 30$   
接続先 14人



同じリンクの数で  
伝わる先が3倍以上になる



# Small World

Small world図

クラスター係数図

ランダム性の増加

## スモールワールド・モデル

(「Small Worlds: The Dynamics of Networks Between Order and Randomness」  
ワッツ 1999) 情報処理学会「Small world構造に基づく文書からのクラスリング」松尾、他

(<http://f39.aaa.livedoor.jp/~hukuryu/>)

# 選択

- **成功の基準**
  - 「高得点」ではなく「どれだけ頻繁に複製されたか」
  - 成功の基準を変更させるのは、賞
    - ノーベル賞、ベストドレッサー賞、優秀社員賞
  
- **選択**
  - エージェントの選択                      選挙、報酬と罰則
  - 戦略の選択                                      技の伝承
  - ハイブリッド選択                              人事異動
  
- **信頼度の付与**
  - 選択のコントロールは信頼度によって
  - 人間国宝, ISO9000, ☆☆☆

# ミシュランガイド



ミシュランガイド  
1900年



MICHELIN社HP

## MICHELIN stars 2006

N: the new stars 2006

Underlined: the « Rising stars » 2006



Number of three-star restaurants: 26, of which one new

Location (department)	Establishment
Anancy / Veyrier-du-Lac (74)	<i>La Maison de Marc Veyrat</i>
Baerenthal / Untermuhlthal (57)	<i>L'Amsbourg</i>
Cancalle (35)	<i>Maisons de Bricourt</i> <u>N</u>
Eugénie-les-Bains (40)	<i>Les Prés d'Eugénie</i>
Illhaeusern (68)	<i>Auberge de Ill</i>
Joigny (89)	<i>La Côte St-Jacques</i>
Laguiole (12)	<i>Michel Bras</i>
Lyon (69)	<i>Paul Bocuse</i>
Megève (74)	<i>La Ferme de mon Père</i>
Monte-Carlo (MC)	<i>Le Louis XV-Alain Ducasse</i>
Paris 1 <sup>er</sup>	<i>Grand Vefour</i>
Paris 4 <sup>e</sup>	<i>L'Ambroisie</i>
Paris 7 <sup>e</sup>	<i>Arpège</i>
Paris 8 <sup>e</sup>	<i>Alain Ducasse au Plaza Athénée</i>
Paris 8 <sup>e</sup>	<i>Le "Cinq"</i>
Paris 8 <sup>e</sup>	<i>Ledoyen</i>
Paris 8 <sup>e</sup>	<i>Pierre Gagnaire</i>
Paris 8 <sup>e</sup>	<i>Taillevent</i>
Paris 17 <sup>e</sup>	<i>Guy Savoy</i>
Puymirol (47)	<i>Michel Trama</i>
Roanne (42)	<i>Troisgros</i>
Saint-Bonnet-Le-Froid (43)	<i>Régis et Jacques Marcon</i>
Saulieu (21)	<i>Le Relais Bernard Loiseau</i>
Strasbourg (67)	<i>Buerehiesel</i>
Vézelay / Saint-Père (89)	<i>L'Espérance</i>
Vonnas (01)	<i>Georges Blanc</i>

MICHELIN社HP

# ユーザー指向システム設計

- **生産システムは複雑系**
  - オペレータ、顧客、プラント・生産ライン、製品…
  - 常に設計を見直し、改善し、選択し、再結合する必要がある
- **多様性**
  - 装置、PLC、I/O、OSなどを一社にしない
  - ソースコードは複写できるが、完全に同じでなくても良い
- **相互作用**
  - 異なる部署のエンジニア間の交流
  - 真似できるプログラム言語
- **選択**
  - 再利用が多いソース開発者に賞を与える
  - エンジニアの人事異動
  - ソース(デザイン)、開発者への信頼度付与

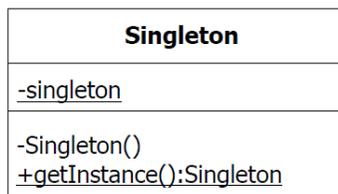
# デザインパターン

優れたパターンに信頼度を付与して推奨する仕組み

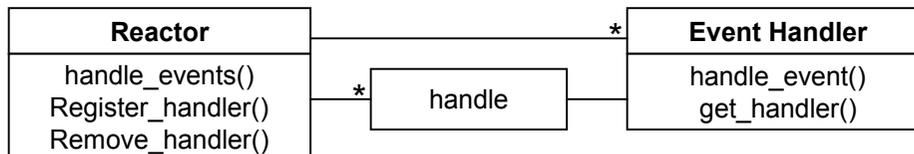
## GoF(Gang of Four)のデザインパターン例

### Singletonパターン

クラスが1つだけインスタンスを持つことを保証する



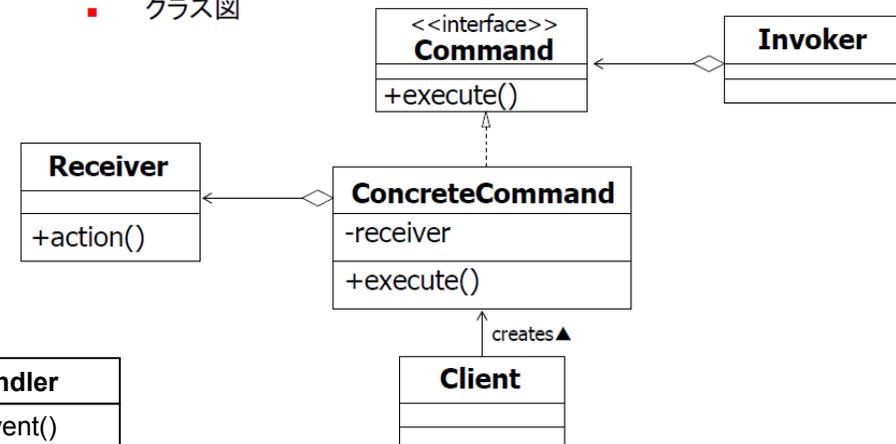
### Event Handlingパターン



### Commandパターン

要求をオブジェクトとしてカプセル化することによって、命令をクラスとして扱う

■ クラス図



# PLCopen

- PLCopen(IEC61131)は、複雑システムを設計するのに適した機能を持っている
  - 多様性
    - 異機種間で複写できる(?)
  - 相互作用
    - 異なる部署のエンジニア間で相互作用が生じる
  - 選択
    - 優れたパターン(FBなど)を表彰できる
  
- 事例紹介

# 事例: ユーザー指向システム設計

## ■ 東京電機産業株式会社

- 東京都渋谷区幡ヶ谷1-18-12
- 資本金 2億2900万円 社員数 484名 営業拠点 16ヶ所
- 事業内容
  - センサー、伝送器、変換器、工業用レコーダ、プロセス制御装置、測定器、電気計測器、試験機器、ラボ分析機器、開発支援機器、CATV関連機器、LANテスト等の情報通信機器等の販売及びレンタル・リース
  - 上記機器のエンジニアリング、システム設計、ソフトウェア開発
  - 上記機器の引取修理、定期点検、年間保守、を中心とするメンテナンス作業

## ■ ソフトウェアエンジニア

- |                      |     |
|----------------------|-----|
| - SE(PA,FA,MES)      | 40名 |
| - DCS系ソフト(DDC,SEQ)   | 40名 |
| - PC系ソフト(VB,VC,C#)   | 30名 |
| - PLC系ソフト(Rudder,FB) | 10名 |

- 機種、開発言語が異なり、ソフトウェア開発者の交流が少ない
- 人事異動できない

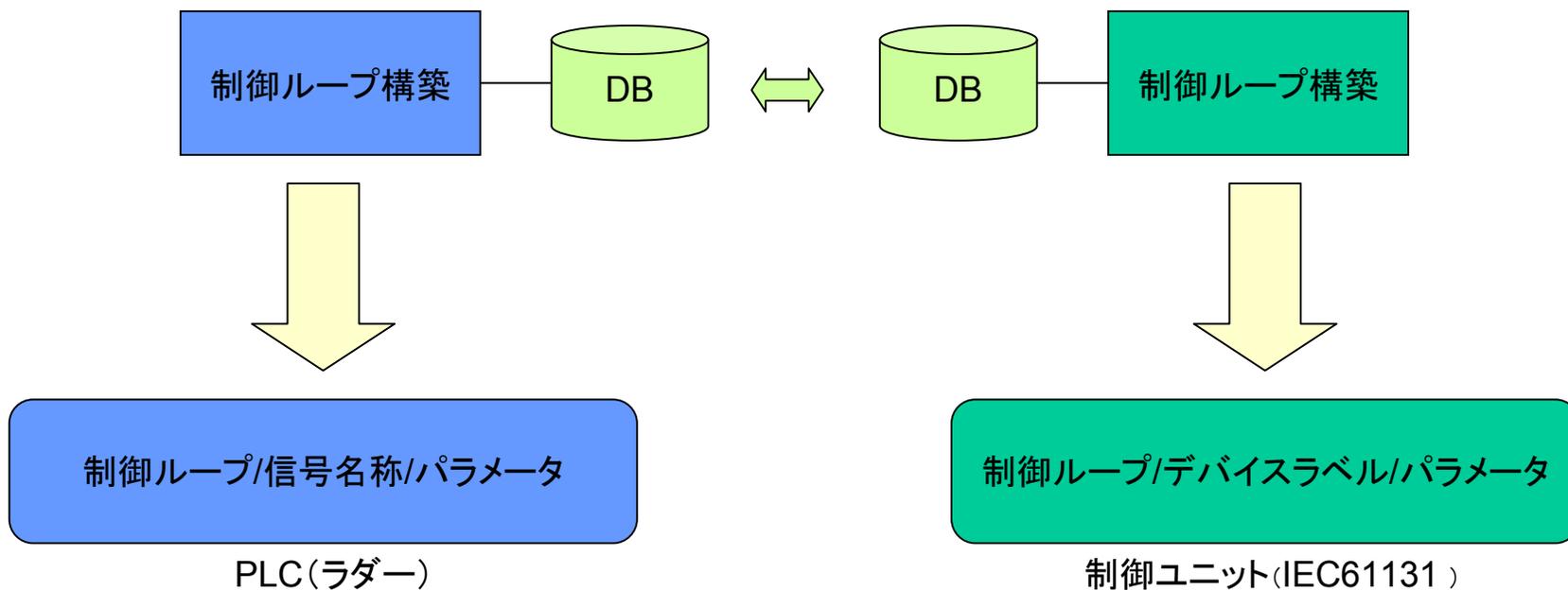


# 制御ループ構築機能の開発

- 目的:
  - エンジニアの相互作用を支援
    - PLCエンジニアがDDCの開発ができること
    - DCSエンジニアがPLCの開発ができること
    - IEC61131へスムーズに移行できること
- 方法
  - SEQとDDCとの連携
  - 利用者が多いPLC用制御ビルダを、IEC61131に移植
  - FIF形式およびウィザード形式で、制御ブロックを構築

# 制御ビルダの機能概要

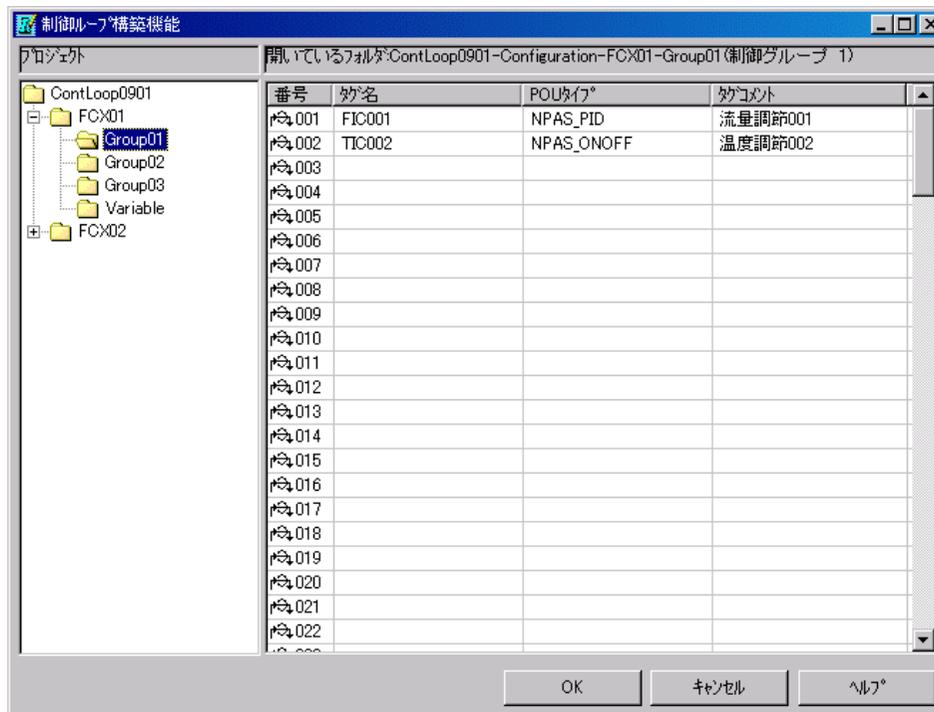
- PLC(ラダー言語)向けと, 制御ユニット(IEC61131)向けをエンジニアリングベースで共通化
- 操作性は同じに



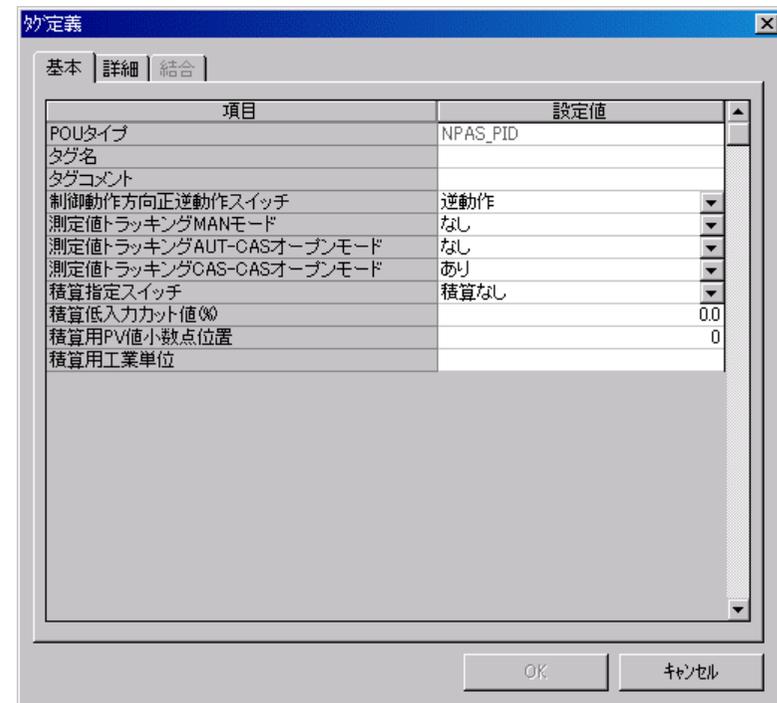
# タグ定義エンジニアリング例1

- FIF形式でタグ定義情報を入力し、表形式で一覧表示

制御ループ構築メイン画面



タグ定義画面



# タグ定義エンジニアリング例2

- パラメータ・ループ結合定義もリストから選択

タグ詳細パラメータ設定画面

項目	設定値
上限/下限ヒステリシス(%)	2.0
上上限/下下限ヒステリシス(%)	2.0
入力変化率サンプル数	1
入力変化率サンプリング間隔(秒)	1.000
入力変化率ヒステリシス(%)	2.0
偏差チェックフィルタゲイン	0.000
偏差チェックフィルタ時定数(秒)	0.000
偏差アラームチェックヒステリシス(%)	1.0
出力上限/下限アラームヒステリシス(%)	2.0
PID演算アルゴリズム	自動決定
制御周期(秒)	0.000
入出力補償実行スイッチ	なし
ギャップ動作実行スイッチ	なし
ギャップゲイン	1.0
不感帯動作スイッチ	なし
不感帯ヒステリシス(%)	1.0
AUTフォールバックの実行指定スイッチ	なし
MAN時出力変化率リミットバイパススイッチ	なし
変化率リミット値(%)	100.0
クランプ実行スイッチ	あり
クランプヒステリシス(%)	2.0
出力動作方向スイッチ	位置型

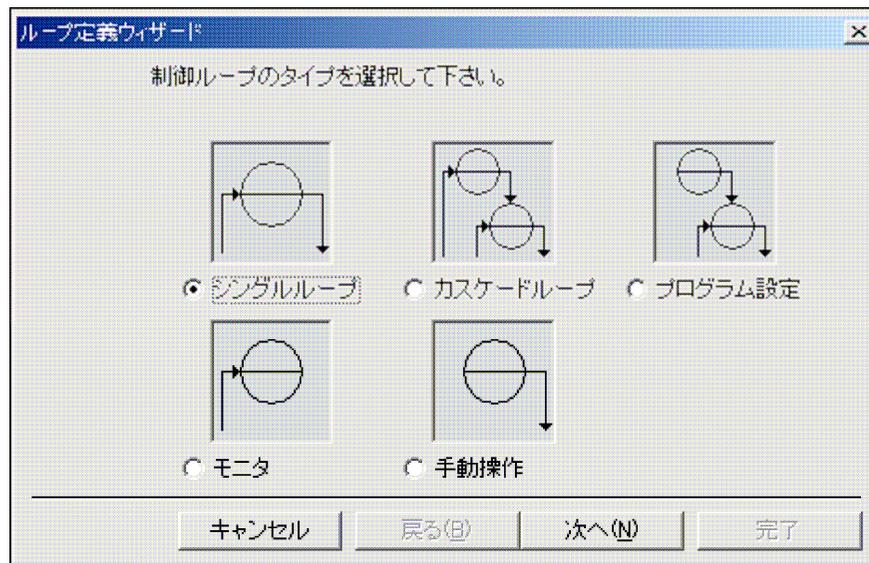
ループ結合設定画面

項目	設定値
測定入力(IN)	設定...
結合タイプ	
結合先	
PV振り切り機能を指定するスイッチ	保持
上限入力オープン検出設定値(%)	106.3
下限入力オープン検出設定値(%)	-6.3
スケール/スレス	0
時間単位(秒)	0.000
パルス列入力バッファ数	10
デジタルフィルタ	なし
デジタルフィルタ係数	0.0
開平演算	なし
ローカット値(%)	0.05
設定入力(CAS_IN)	設定...
結合タイプ	
結合先	
PV振り切り機能を指定するスイッチ	保持
上限入力オープン検出設定値(%)	106.3
下限入力オープン検出設定値(%)	-6.3
出力値(OUT)	設定...
結合タイプ	

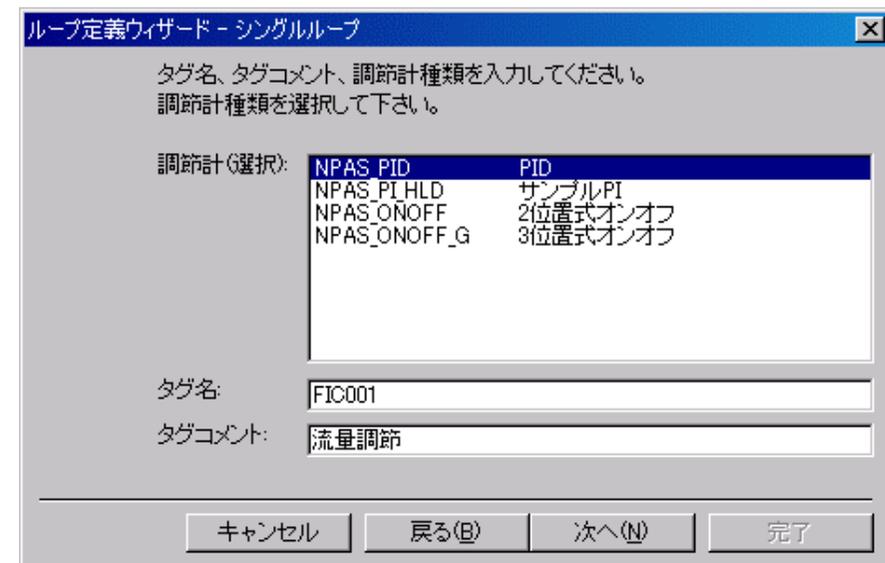
# ウィザード形式タグ定義

- 単純なループ定義はウィザード形式で可能

## ループ定義ウィザード



## シングルループ定義画面



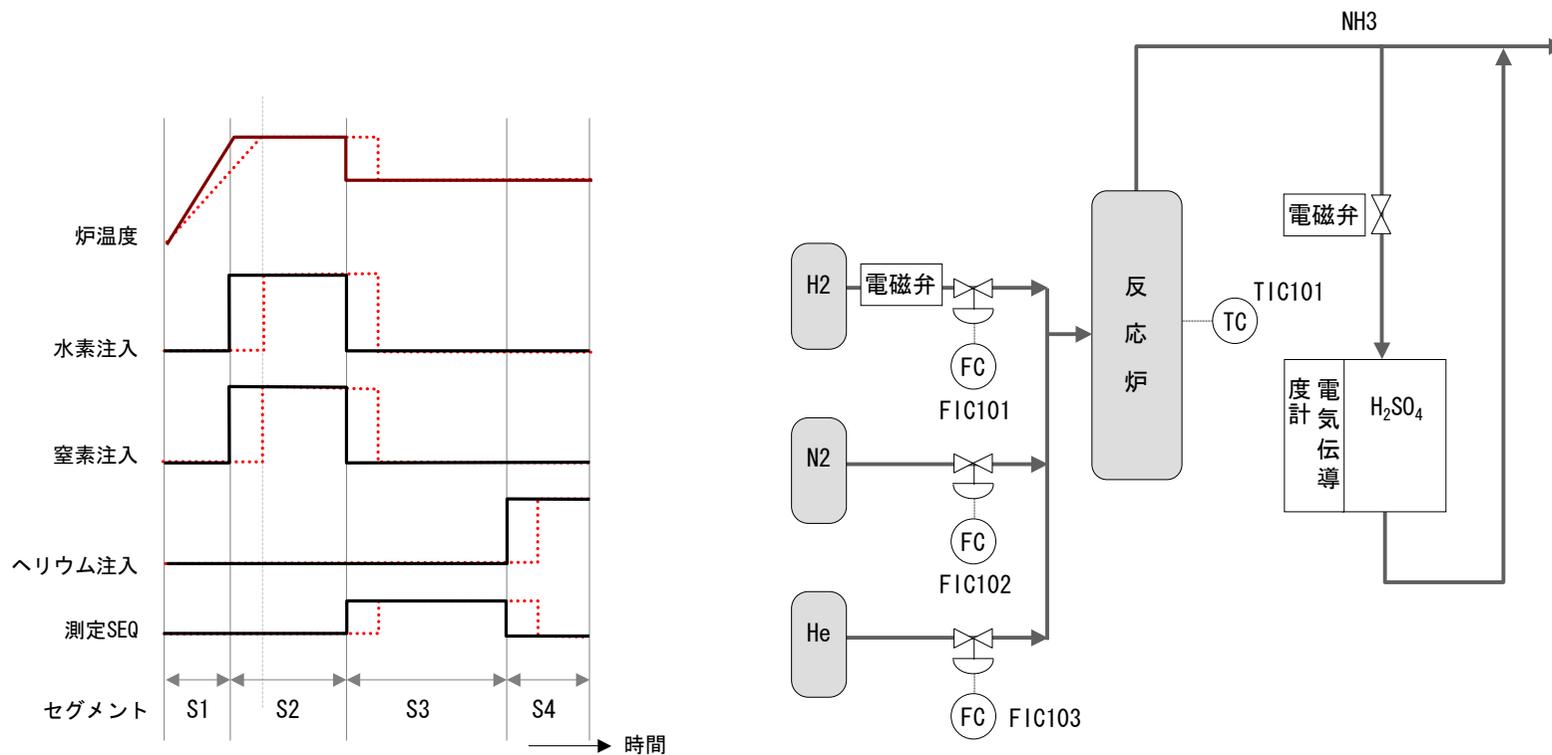
# 制御機能一覧

入力指示 POU
PID調節 POU
サンプルPI調節 POU
2位置式オンオフ調節 POU
3位置式オンオフ調節 POU
手動操作 POU(出力プッシュバックなし)
出力値プッシュバック型MLD
パイアストラッキング型手動操作 POU
比率設定 POU
比率設定 POU(レシオトラッキング機能付き)
30折れ線形プログラム設定 POU
30折れ線形プログラム設定 POU(パンプレス機能付き)
変化率制限 POU
出力値プッシュバック型VELLIM
オートセレクト POU
カスケード信号分配 POU
フィードフォワード信号加算 POU
フィードフォワード信号加算 POU(バランス動作あり)
シングルクロスリミット演算POU
ダブルクロスリミット演算POU

流量計量用定量設定POU
進み遅れ POU
むだ時間 POU
移動平均 POU
区間平均 POU
可変折れ線関数 POU
温圧補正 POU
温度補正 POU
圧力補正 POU
ASTM補正 POU(旧JIS)
ASTM補正 POU(新JIS)
1対3接点1回路切り替えスイッチ POU
3対1接点1回路切り替えスイッチ POU
1対9接点1回路切り替えスイッチ POU
9対1接点1回路切り替えスイッチ POU
数値データ格納 POU(REAL)
時間データ格納 POU(TIME)

# ガス生成パイロットプラント適用例

## ■ 触媒法ガス生成パイロットプラント



# エンジニアリング画面

## ●制御ビルダでプログラミングレスエンジニアリング

出力パターンは  
Ramp  
URamp  
Step  
が設定可能

設定形式:

No.	タグ名	設定タイプ
1	TIC101.SV	URamp
2	FIC101.SV	Step
3	FIC102.SV	Step
4	FIC103.SV	Step
5		
6		
7		
8		

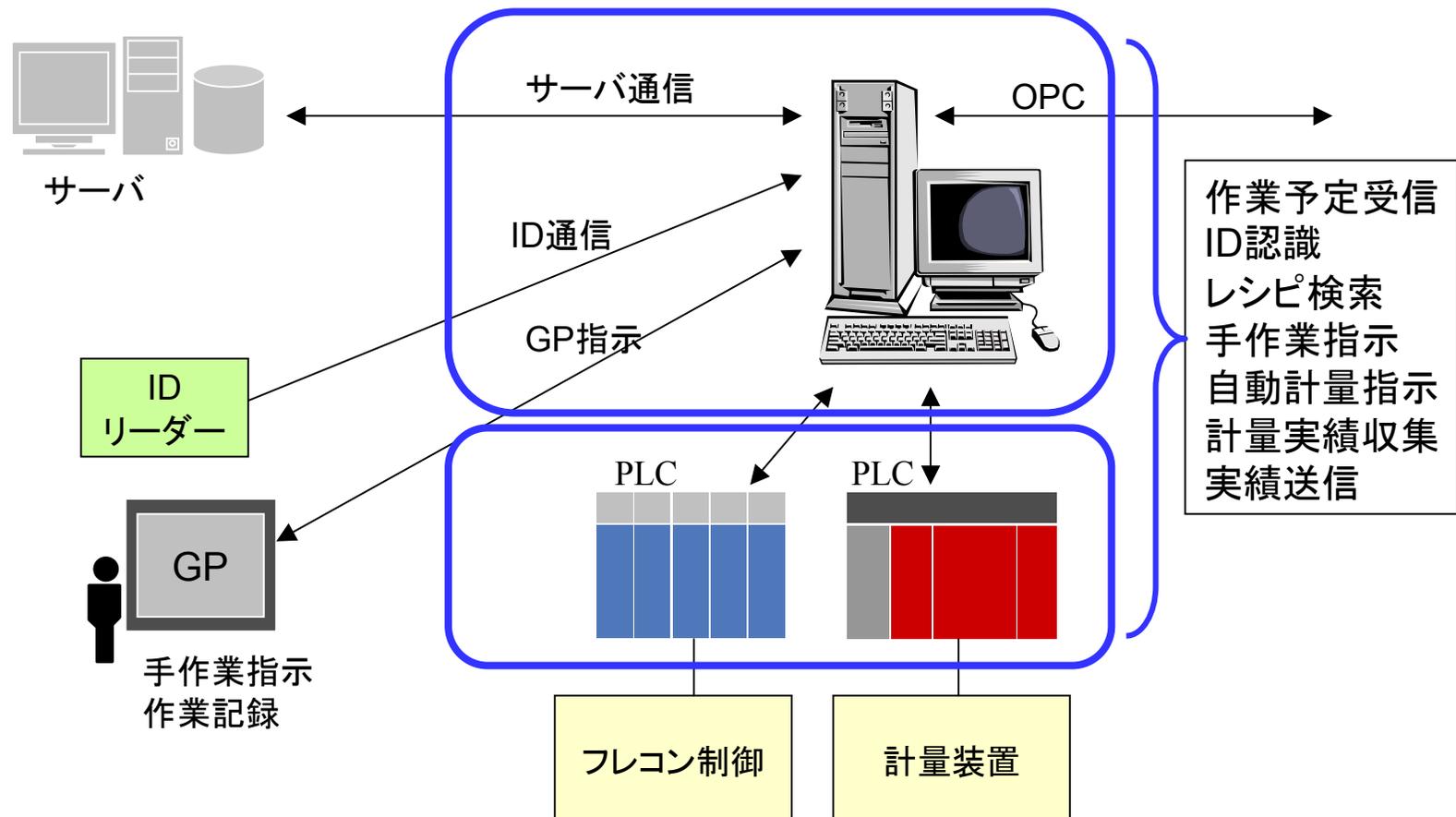
SEが作成したループ設計書から、DCS未経験のPLCエンジニアが、10日間で全エンジニアリング完了

最終検査は、DCSエンジニアに入ってもらい共同作業(相互作用)

東京電機産業

# 粉体計量工程の例

- 工程制御PCとPLCは、一体で処理を実行している
  - 上位サーバ通信, PLC設定, 装置通信など
  - PC、PLCどちらで何を処理するかは、ほとんど「好み」の世界
- しかし、ソフトウェア環境毎に開発者が別々となり、自由度が低下している



# PC開発環境の概要

- 目的:
  - PC/PLCエンジニアの相互作用
    - PCエンジニアがPLCの開発ができる
    - PLCエンジニアがPCの開発ができる
    - PCとPLCが同一開発環境で、一連の処理を実現したい
- 方法
  - PLCおよびIEC61131向けに開発した制御ビルダを、PC上での通信やデータ処理に対応できるように拡張する
  - ラダーやFBに対応できる言語形式(XMLベース)
  - PLCエンジとPCエンジを融合(再結合)



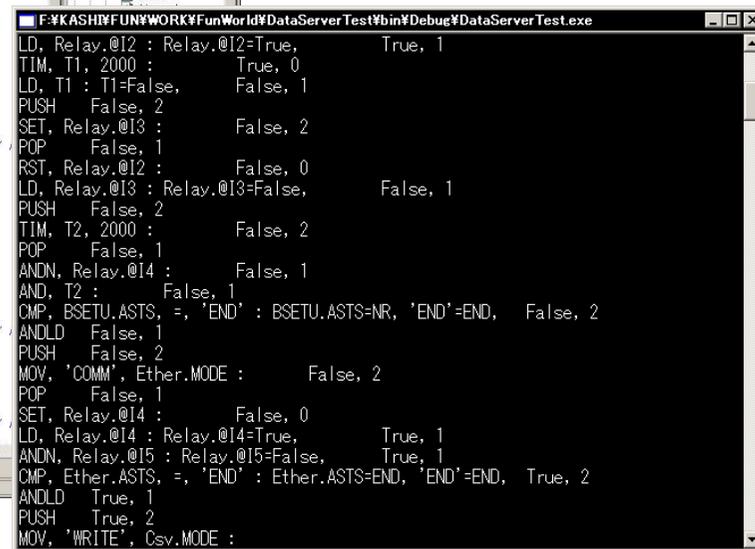
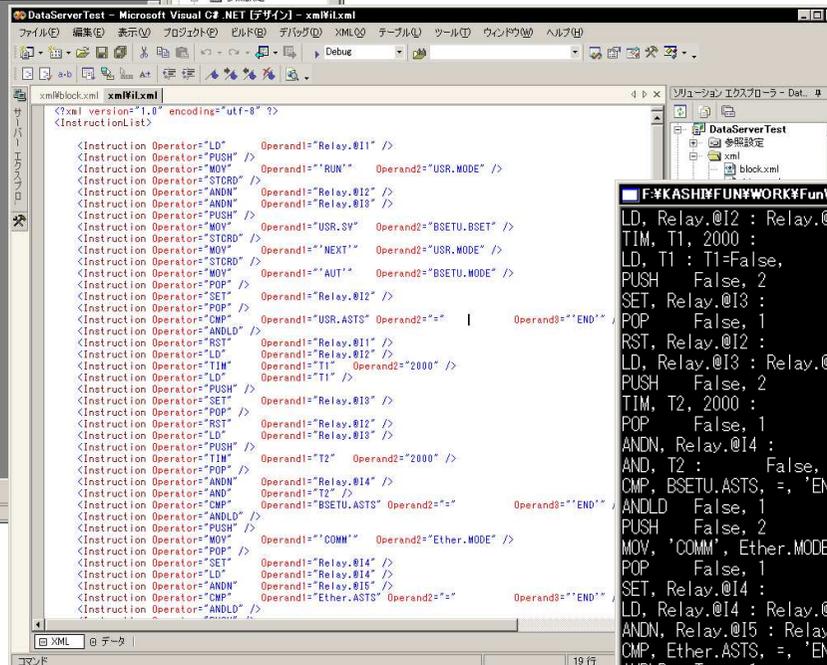
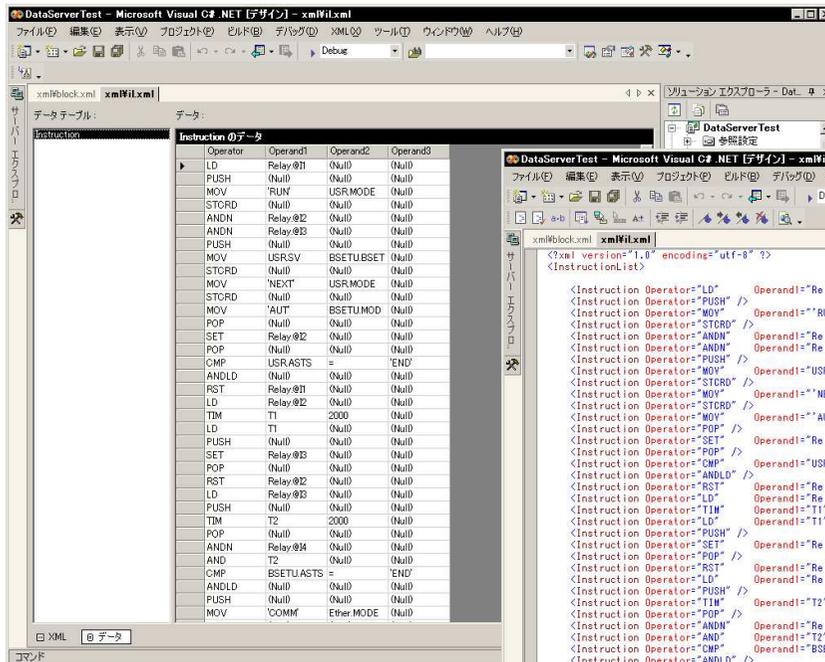
# 画面例

- PC上でイベント処理, 通信, ファイルR/W、キューイングなどができるFBを用意
- FIF形式, Rudder/FB形式で記述できるような設計
- DLL, ScriptでユーザーFBを作成しリンク可能

## コード入力

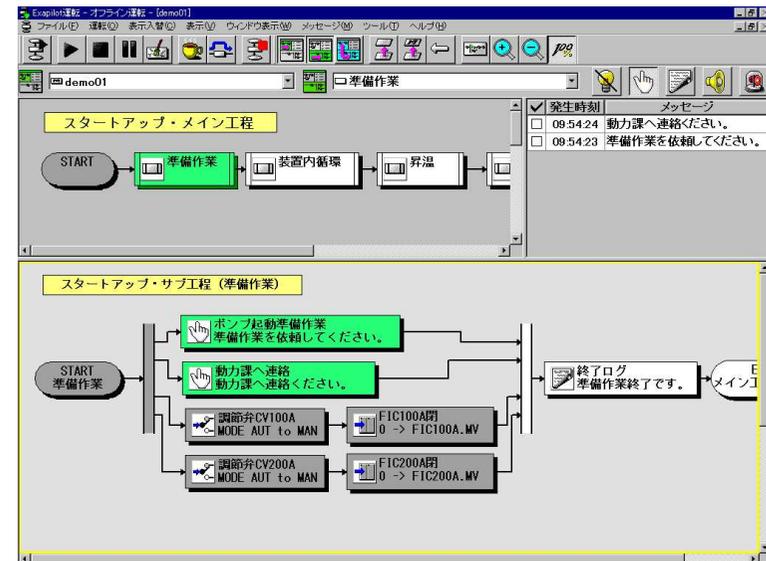
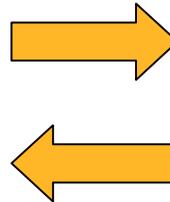
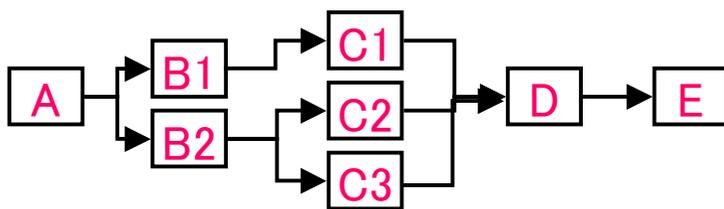
### XML定義

### 実行画面



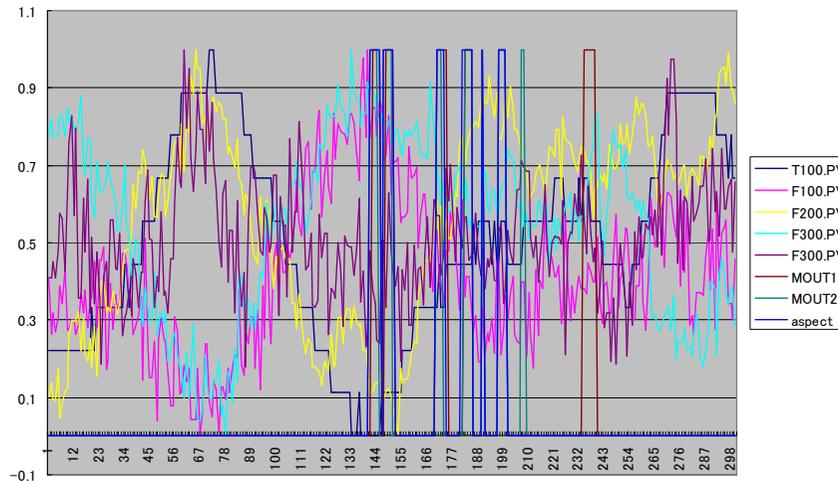
# 参考: ワークフローの改善サイクル

- 工程制御・運転支援システムでは、ワークフローをプログラムにする
- しかし、一度作ったプログラムを改善するのは難しい

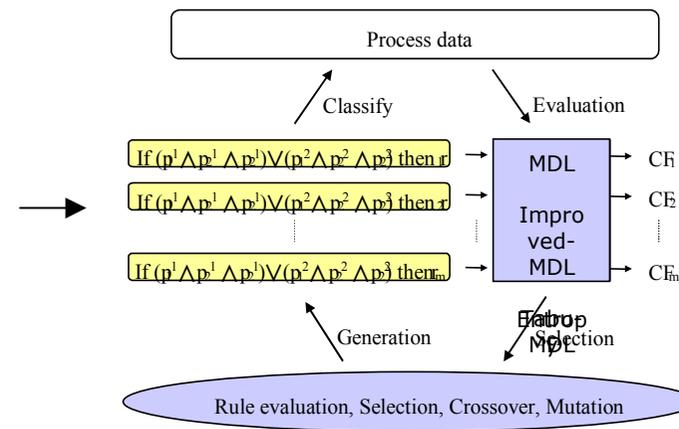


# 熟練者の知識発見

- 製造工程の時系列データから、実際のオペレータ操作や稼動イベント発見する(データマイニング手法)

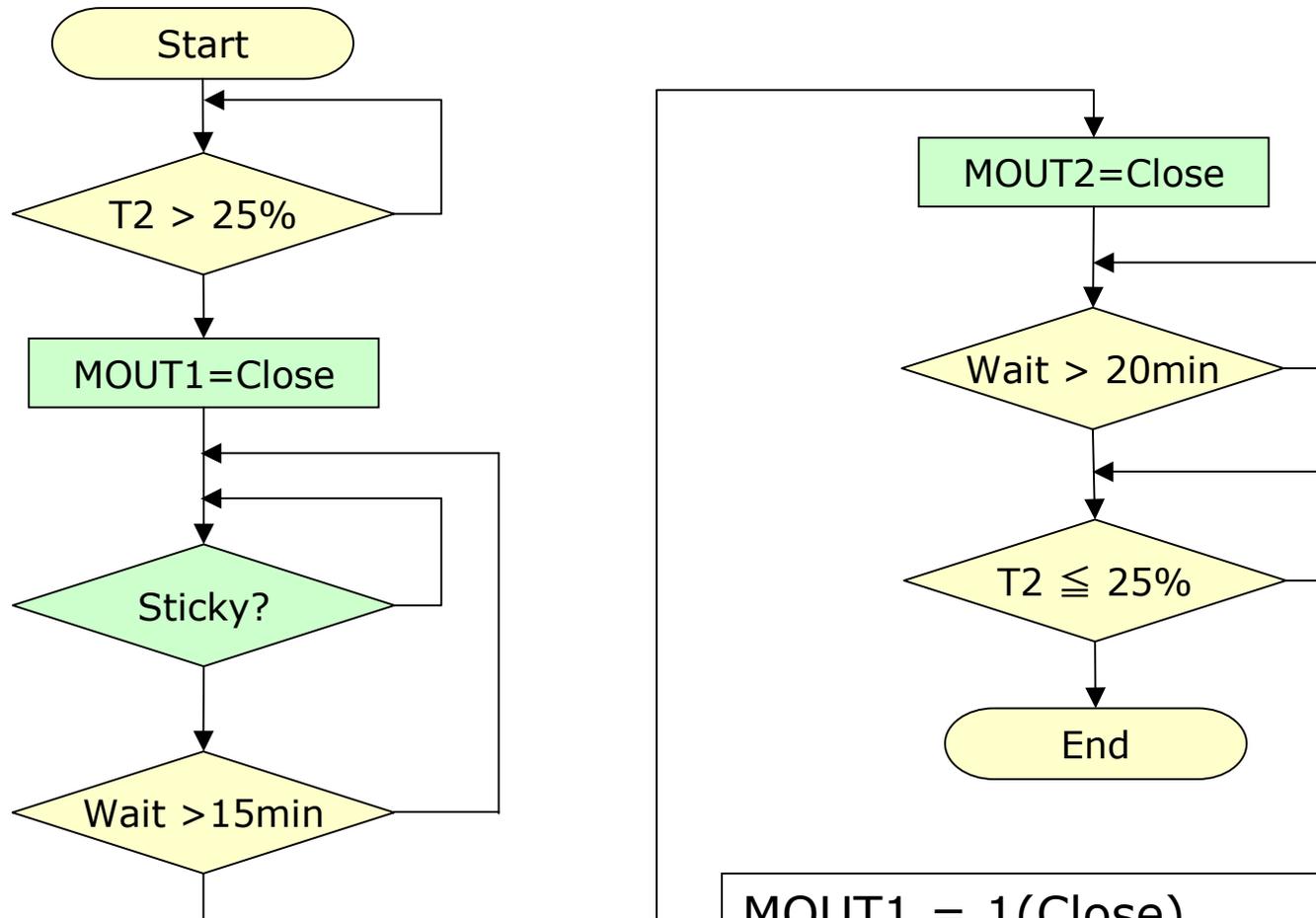


## 知識発見アルゴリズム



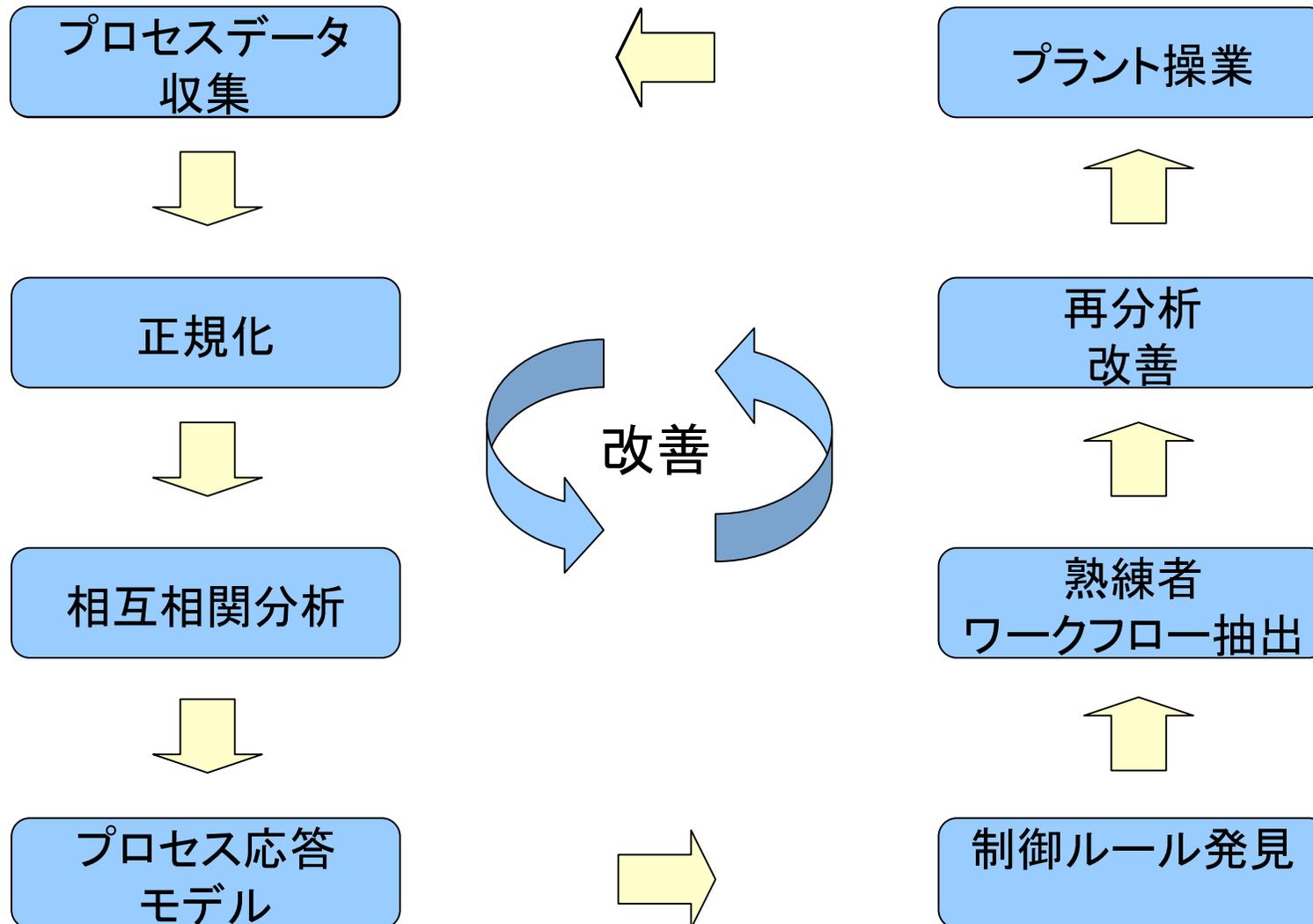
MOUT1 = 1(Close)  
 and Sticky = 1 after 15min  
 and MOUT2 = 1(Close)  
 Then T2 ≤ 25% after 20min

## 抽出されたワークフロー



MOUT1 = 1(Close)  
and Sticky = 1 after 15min  
and MOUT2 = 1(Close)  
Then  $T2 \leq 25\%$  after 20min

# 改善のサイクル



# 謝辞

- 主な資料提供・協力
  - 東京電機産業株式会社
  - 横河電機株式会社
  - Harnessing Complexity(「複雑系組織論」), R.Axelrod, M.Cohen
  - 東京工業大学 寺野研究室/(旧)秋鹿研究室