Knowledge
Aided
Engineering
Manufacturing
and
Related
Technologies

POLITECNICO DI MILANO

Network of Evolutionary Trends and Maturity assessment through contradiction analysis

進化トレンドのネットワークと矛盾解析による成熟度評価

Niccolò Becattini

Gaetano Cascini - gaetano.cascini@polimi.it

Federico Rotini

和訳：井上　淳（東芝）、
中川　徹（大阪学院大）

研究の経緯

- 今日、**新たに生まれてきている技術の分析**、特にその市場・経済・社会に対する潜在的インパクトを分析するためには、**信頼でき繰り返し使える方法・ツール**が必要である。なぜなら関連する情報により民間組織・公的組織が戦略的な決定を行うことになるからである。

- この分野においてこれまで、**50以上の方法論**～様々な特徴や特定の目的を持つもの～が提案されてきていることは、驚くにあたらない [1]

☹ にもかかわらず、これら全ての技術は**いくつかの弱点**を呈している[2]。例えば、中長期予測における**確度の不足**、**再現性に乏しい**、 適用性に劣る、などなど。即ち、万能の方法はなく、さらに、相補的な方法を、特定のゴールと使えるデータに合わせて統合しなければならない。

[1] Porter, A.L. et al.: "Technology Future Analysis: Toward integration of the field and new methods". Technological Forecasting & Social Change 71, pp. 287–303, 2004.

[2] Kucharavy, D. and De Guio, R.: "Problems of Forecast". Proceedings of the 5th ETRIA TRIZ Future Conference, ISBN 3-7011-0057-8, Graz, Austria, November 16-18, 2005.

 © 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

研究の経緯

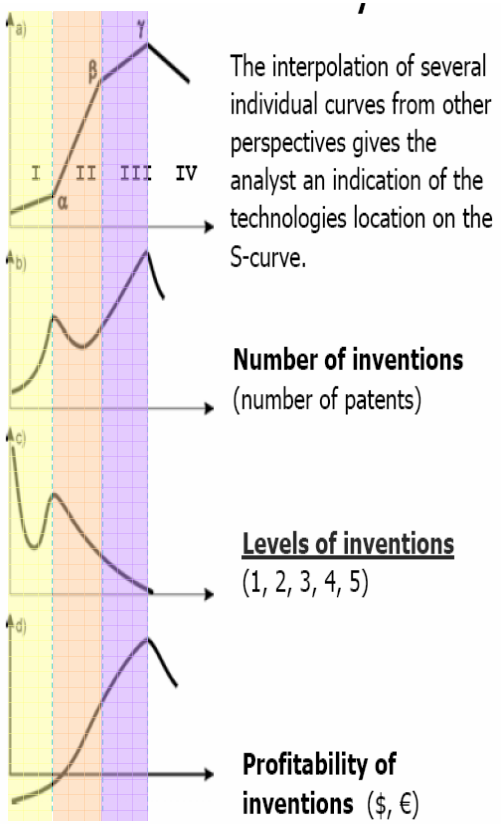
- TRIZが体系的な予測の方法論として勃興しており、TRIZコミュニティはAltshullerの「**技術システム進化の法則**（Laws of Engineering System Evolution (LESE)」を応用することによる効用を広く主張している

☹ しかしながら、これらのツールはいくつかの特定状況においてその可能性を示しているけれども、**それらが統一的に使用されたのは発明的問題解決タスク(ARIZ)に限られており、予測のための応用例ままだなお欠如している。**

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

研究の経緯

- 技術の成熟度レベルを評価するのは、さらに大変なタスクである。古典的TRIZによると、**技術成熟度評価**は、システム開発・発明数・発明度や収益性などの曲線により行われる。
- ☹ そのうえ、これらの曲線は（いくつかの文献[3-5]でいっていることに反して）**実践的な目的にはほとんど使えない。**なぜなら、Altshuller　自身が構築したやり方の情報が欠如している(それ故に、正当性の限界に関する記述がない) からである。



* G.S.Altshuller: 1979. CREATIVITY AS AN EXACT SCIENCE. Sovietskoe radio, Moscow.

[3] Mann D.: “Using S-Curves and Trends of Evolution in R&D Strategy Planning”, the TRIZ Journal, July, 1999.

[4] Gibson N., Slocum M.S., Clapp T.G.: “The Determination of the Technological Maturity of Ultrasonic Welding”, the TRIZ Journal, July, 1999.

[5] Gahide S., Clapp T.G., Slocum M.S.: “Application of TRIZ to Technology Forecasting - Case Study: Yarn Spinning Technology”, the TRIZ Journal, July, 2000.

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

ゴールと概略

- 技術システム（TS）、およびその主有効機能（MUF）が様々な詳細度レベルで発揮されるしくみを、解析する**ステップバイステップのアルゴリズム** [を示すこと]
  - 現在のシステムの動作原理を前の世代のものと比較し、**進化を比較するための情報の構造的な分類**を構築する
  - これらの比較により、リソースがさまざまに関与する**シナリオのネットワーク**を構築できる。これはTS進化のマップを構成するものであり、既に商用化されている製品、新興の特許化された発明、投資のためのフリースペースなどを一緒にビジュアル化できる
  - **技術の成熟度**と、その技術を特定の分野に応用したときに内在する矛盾の進化とを関係づける。
  - **望ましい戦略的方向性**の選択が、やはり予測の利得性に帰属でき、それは当事者たちのその世界に対する態度、使命観、価値観に応じたものである。このことは、既にAltshullerが示唆したことである。

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

ゴールと概略

- 技術システム（TS）、およびその主有効機能（MUF）が様々な詳細度レベルで発揮されるしくみを、解析する**ステップバイステップのアルゴリズム** [を示すこと]

- 概略
  - 関連研究
  - システム解析の参照モデル
  - TRIZベースの進化解析のための機能モデリング
  - **トレンドのネットワーク**を構築する **(NET)**
  - **矛盾と進化ステージとを関連づける**
  - 例示のための応用
    - 薬品製造セクタにおけるタブレットの製造
  - 結論と今後の課題

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

関連研究: TRIZの手段と予測

- Fey and Rivin [6]: TRIZを「新規製品・プロセスを方向づけた開発をするためのパワフルで構造化された方法論」という。
  方法論的な記述は、いくつかの事例を使ってLESEを示すに限られている。
  ➔ TRIZの法則を適用されるべきやり方については全く述べていない
- Cavallucci [7]: TRIZのLESEを製品開発サイクルと統合し、技術ソリューションのインパクトを予測する方法とした

☹ LESEに基づいて評価しさらに開発するべき要素や機能を特定するための**方向性が全く示されていない。**

☹ 具体的な比較手段も、得られていない

[6] Fey V. R., Rivin E. I.: "Guided Technology Evolution (TRIZ Technology Forecasting)". The TRIZ Journal, January 1999, available at http://www.triz-journal.com/archives/1999/01/c/index.htm.

[7] Cavallucci, D.: "Integrating Altshuller's development laws for technical systems into the design process". CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 50(1), 2001, pp. 115-120.

関連研究: TRIZの手段と予測

- 技術予測の目的には、何人かのTRIZプロフェッショナルが統合的な手続きを提案している [8, 9]

☹ Zlotin, ZusmanのDirected Evolutionも、ShpakovskyのEvolution Treesも、やはり**LESEの解釈に大部分の焦点を当てており**、予測をするシステム自体の解析にあてはいない。

☹ **予備的な分類をしていないことが、TRIZの予測が再現性に劣る主要な原因といえる。**なぜなら様々な研究者たちが、TRIZ　LESEを同じ技術システムの異なる詳細・特徴に適用し、またその研究はシステム自体の皮相的な特徴に限定されているからである。

[8] Zlotin, B.L. and Zusman, A.V.: “Directed Evolution. Philosophy, Theory and Practice”. Ideation International Inc. ISBN 192874706X, 2001.

[9] Shpakovsky N.: “Evolution Trees. Analysis of technical information and generation of new ideas” (in Russian), ISBN 5-9348-6048-8, TRIZ Profi, 2006.

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

システム解析の参照モデル

- **EMS モデル**[10]: 任意の技術システムは、エネルギー、物質、および/または、信号(情報)を、所望の出力を達成するようにチャネル化・または変換するブラックボックスとして、モデル化できる

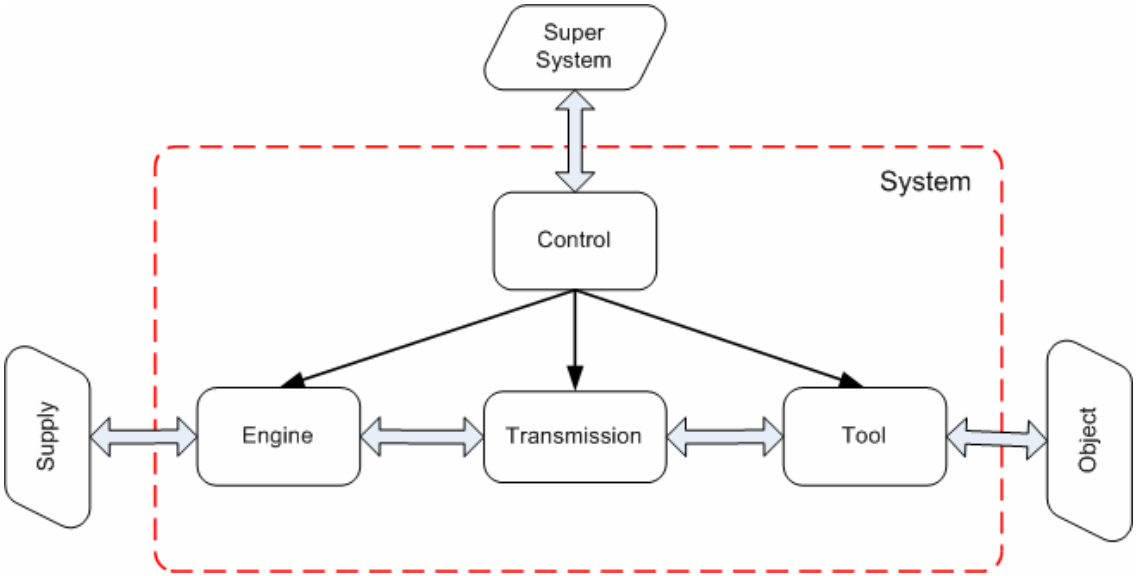
[10] Pahl, G. and Beitz, W.: "Engineering Design. A Systematic Approach", 2nd edition, Springer, ISBN:3540199179, 544 pp., 1996.

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

システム解析の参照モデル

- **最小技術システム** [11]: 解析されるシステムの複雑さがどのようなものであっても、以下の4つの要素を認識しないといけない：**ツール**（TSの機能を提供するワーク要素）、**サプライ**（機能の所望の効果を得るために必要なエネルギーを供給する要素）、**トランスミッション**（サプライからツールにエネルギーを運搬する要素）、**コントロール**（上記の要素の少なくとも1つを支配する要素）

  - 最小技術システムの古典的定義においては、エネルギーの流れのみが考慮されている。それに加えて、システム部品の完全性の法則の概念は、異なるタイプの流れ（すなわち、物質と信号）にも拡張できる。

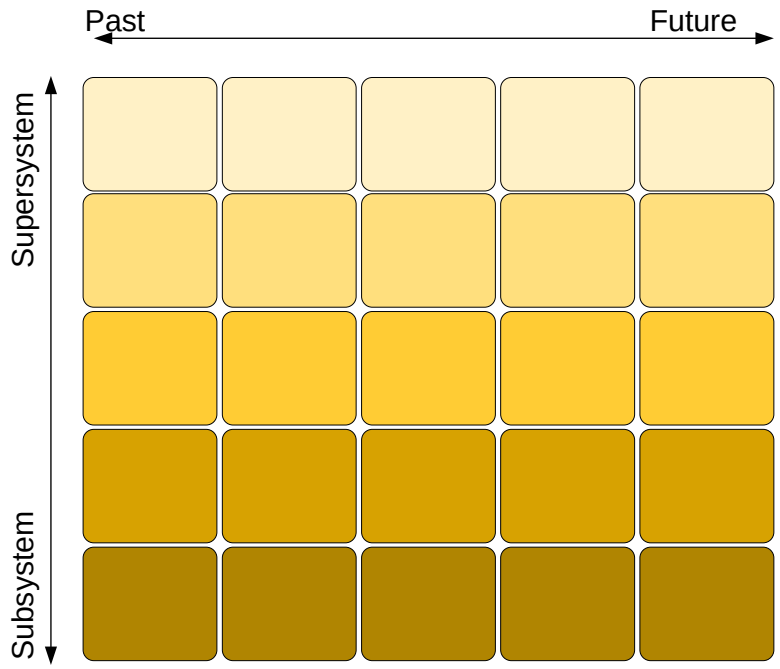


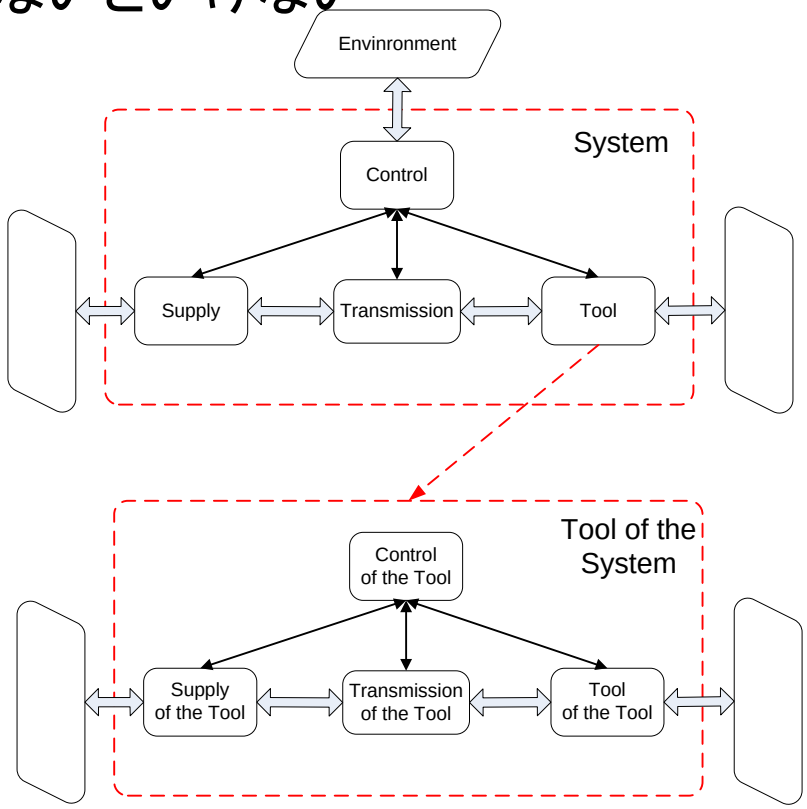
[11] Altshuller, G.S.: “Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems”. Gordon and Breach Science Publishers, ISBN 0-677-21230-5, 1984 (original publication in Russian - 1979)

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

システム解析の参照モデル

- システムオペレータ [11]: 解析は様々な詳細化レベルで、システム要素に適切な階層的分類を行ってなされないといけない





[11] Altshuller, G.S.: “Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems”. Gordon and Breach Science Publishers, ISBN 0-677-21230-5, 1984 (original publication in Russian - 1979)

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

システム解析の参照モデル

- **機能-振る舞い-構造（Function-Behavior-Structure (FBS)）** [12]:
  - TSの**機能**はその存在の動機づけとなる;
  - **構造**レベルでは、TS は実体、これらの実体の属性、そしてそれらの関係から構成される;
  - **振る舞い**（すなわち、自然法則に支配されるオブジェクトの状態の継続的な変化）は、機能と構造を結びつける。

  - 異なる振る舞いも同一の機能を生成しうる
  - 異なる構造でも、同じ振る舞いで特徴づけられることもある

[12] Gero, J.S. and Rosenman, M.A.: “A conceptual framework for knowledge based design research at Sydney University’s Design Computing Unit”. Artificial Intelligence in Engineering, Vol. 5(2), 1990, pp. 65-77

システム解析の参照モデル

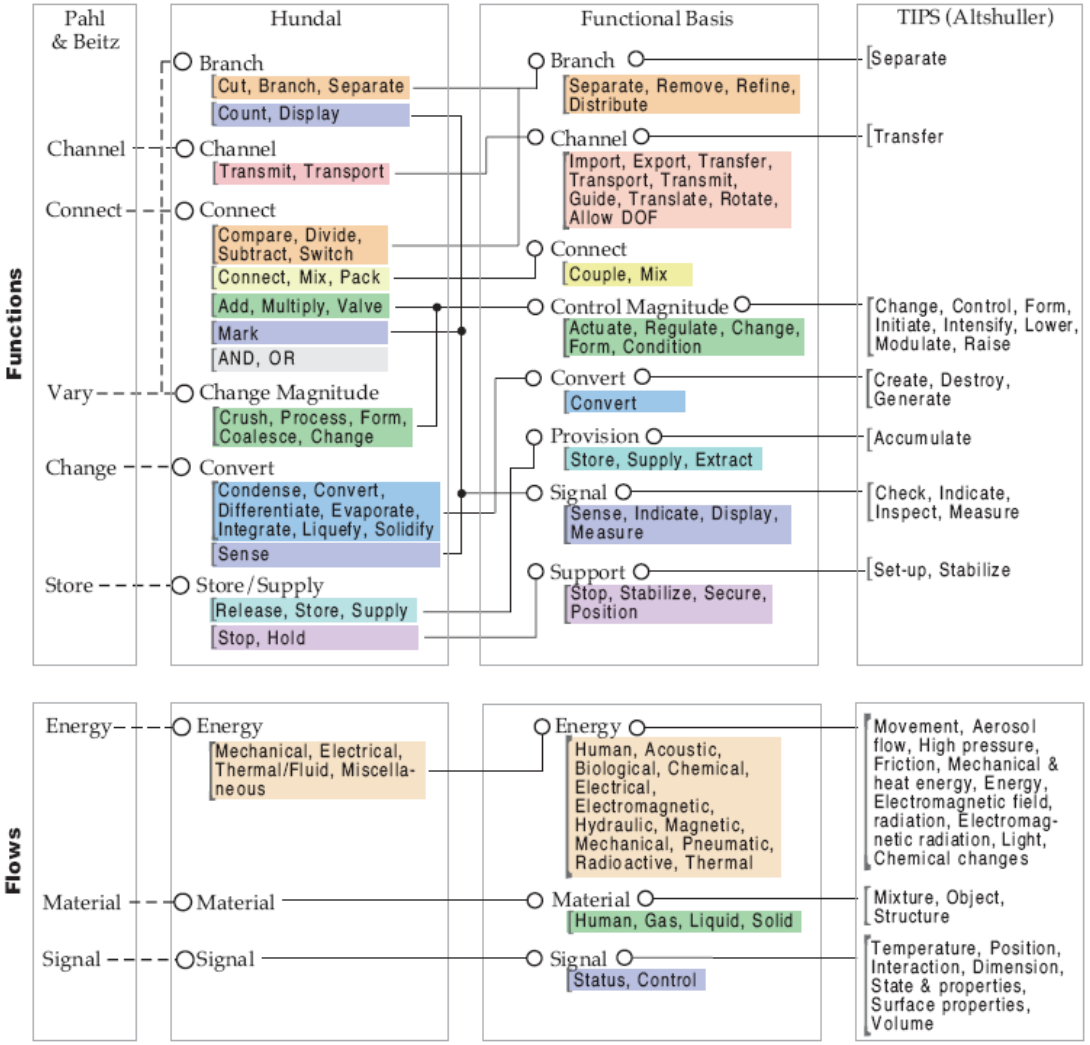
- **工学的設計のための機能ベース** [13]: 機能ベース設計において、形式的な表現を使うことは、
  - モデリングレベルでの曖昧さを減らすために非常に重要である (複数の用語が同じことを意味するのに使われたり、同じ用語が複数の意味に使われたりする曖昧さをなくす)。
  - モデルの再現性を改善する（より多くの数の用語を語彙として含むほど、所与の設計コンセプトをモデル化/記述するのにより多くの異なる方法が存在するようになり [再現性が損なわれる]）

[13] Hirtz, J., Stone, R. B., McAdams, D. A., Szykman, S. and Wood, K. L.: “A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts”, NIST (National Institute of Standards and Technology) Technical Note 1447, February 2002.

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

システム解析の参照モデル

■ 工学的設計のための機能ベース



流れおよび流れに対する作用を
定義するための共通のベース

システム解析の参照モデル

■ 工学的設計のための機能ベース

Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents
Material	Human		Hand, foot, head
	Gas		Homogeneous
	Liquid		Incompressible, compressible, homogeneous,
	Solid	Object	Rigid-body, elastic-body, widget
		Particulate	
		Composite	
	Plasma		
	Mixture	Gas-gas	
		Liquid-liquid	
		Solid-solid	Aggregate
		Solid-Liquid	
		Liquid-Gas	
Signal	Status		
	Control		
Energy	Human		
	Acoustic		
	Biological		
	Chemical		
	Electrical		
	Electromagnetic		
	Hydraulic		
	Magnetic		
	Mechanical		
	Pneumatic		
	Radioactive / Nuclear		
	Thermal		

Overall increasing degree of specification →

Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents
Material	Human		Hand, foot, head
	Gas		Homogeneous
	Liquid		Incompressible, compressible, homogeneous,
	Solid	Object	Rigid-body, elastic-body, widget
		Particulate	
		Composite	
	Plasma		
	Mixture	Gas-gas	
		Liquid-liquid	
		Solid-solid	Aggregate
		Solid-Liquid	
		Liquid-Gas	
		Solid-Gas	
		Solid-Liquid-Gas	
		Colloidal	Aerosol

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

システム解析の参照モデル

■ 工学的設計のための機能ベース

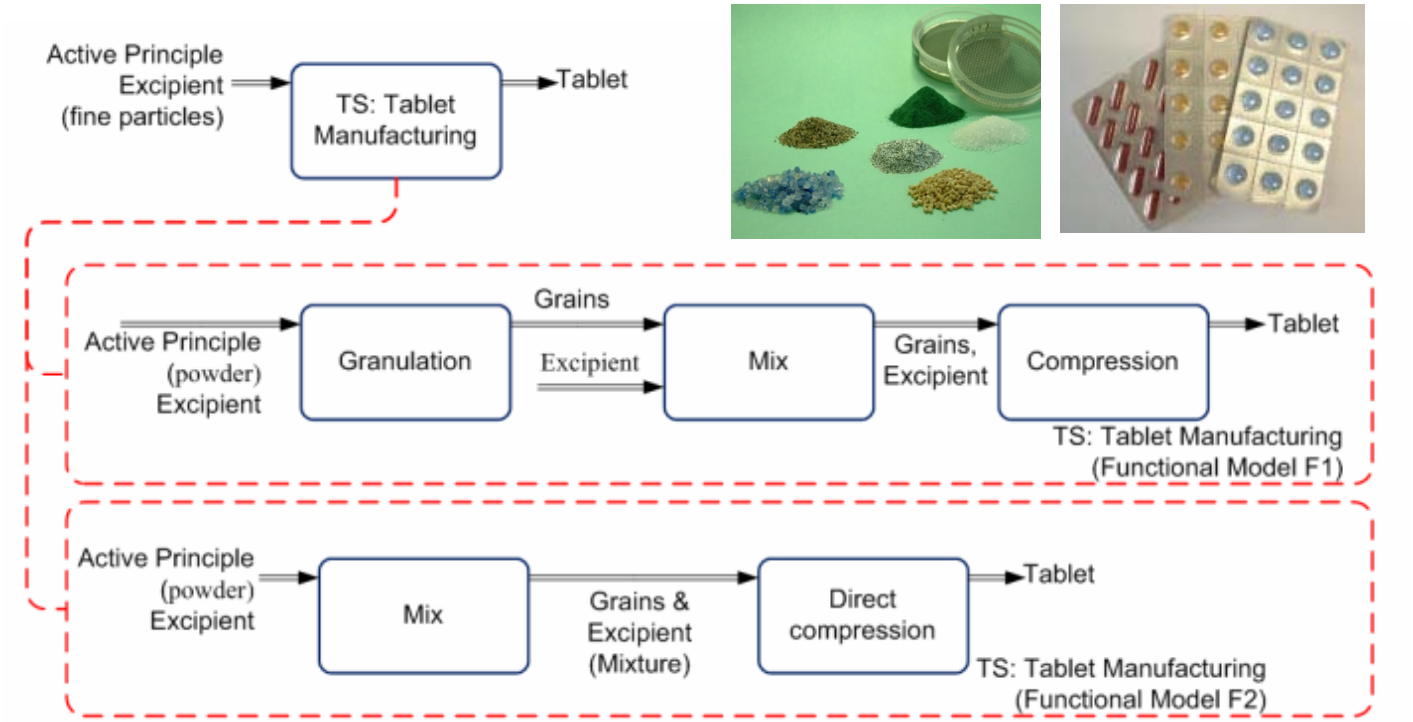
Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents
Branch	Separate		Isolate, sever, disjoin
		Divide	Detach, *isolate*, release, sort, split, disconnect, subtract
		Extract	Refine, filter, purify, percolate, strain, *clear*
		Remove	Cut, drill, lathe, polish, sand
	Distribute		Diffuse, dispel, disperse, dissipate, diverge, scatter
Channel	Import		Form entrance, *allow*, input, *capture*
	Export		Dispose, eject, *emit*, empty, *remove*, destroy, eliminate
	Transfer		Carry, deliver
		Transport	Advance, lift, move
		Transmit	Conduct, convey
	Guide		Direct, shift, steer, straighten, switch
		Translate	Move, relocate
		Rotate	Spin, turn
		Allow DOF	*Constrain*, unfasten, unlock
Connect	Couple		Associate, connect
		Joi	
		Lin	
	Mix		
Control Magnitude	Actuate		
	Regulate		
		Inc	
		De	
	Change		
		Inc	
		De	
		Sh	
		Co	
	Stop		
		Pr	
		Inh	
Convert	Convert		
Provision	Store		
		Co	
		Co	
	Supply		
Signal	Sense		
		De	
		Me	
	Indicate		
		Tr	
		Di	
	Process		
Support	Stabilize		
	Secure		
	Position		
		Overall increasing degree of specification →	

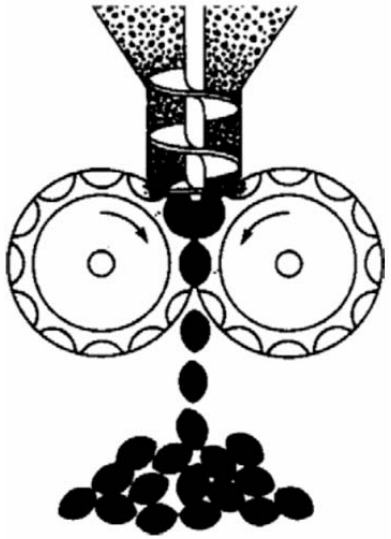
Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents
Branch	Separate		Isolate, sever, disjoin
		Divide	Detach, *isolate*, release, sort, split, disconnect, subtract
		Extract	Refine, filter, purify, percolate, strain, *clear*
		Remove	Cut, drill, lathe, polish, sand
	Distribute		Diffuse, dispel, disperse, dissipate, diverge, scatter
Channel	Import		Form entrance, *allow*, input, *capture*
	Export		Dispose, eject, *emit*, empty, *remove*, destroy, eliminate
	Transfer		Carry, deliver
		Transport	Advance, lift, move
		Transmit	Conduct, convey
	Guide		Direct, shift, steer, straighten, switch
		Translate	Move, relocate
		Rotate	Spin, turn
		Allow DOF	*Constrain*, unfasten, unlock

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

TRIZ ベースの進化解析のための機能モデリング

1. システムの**機能**をEMSモデルを使って記述する
   - ❖ EMSモデルを要素のブラックボックスに分離し、各々がNIST機能ベースを構成する基本アクションを行うようにする

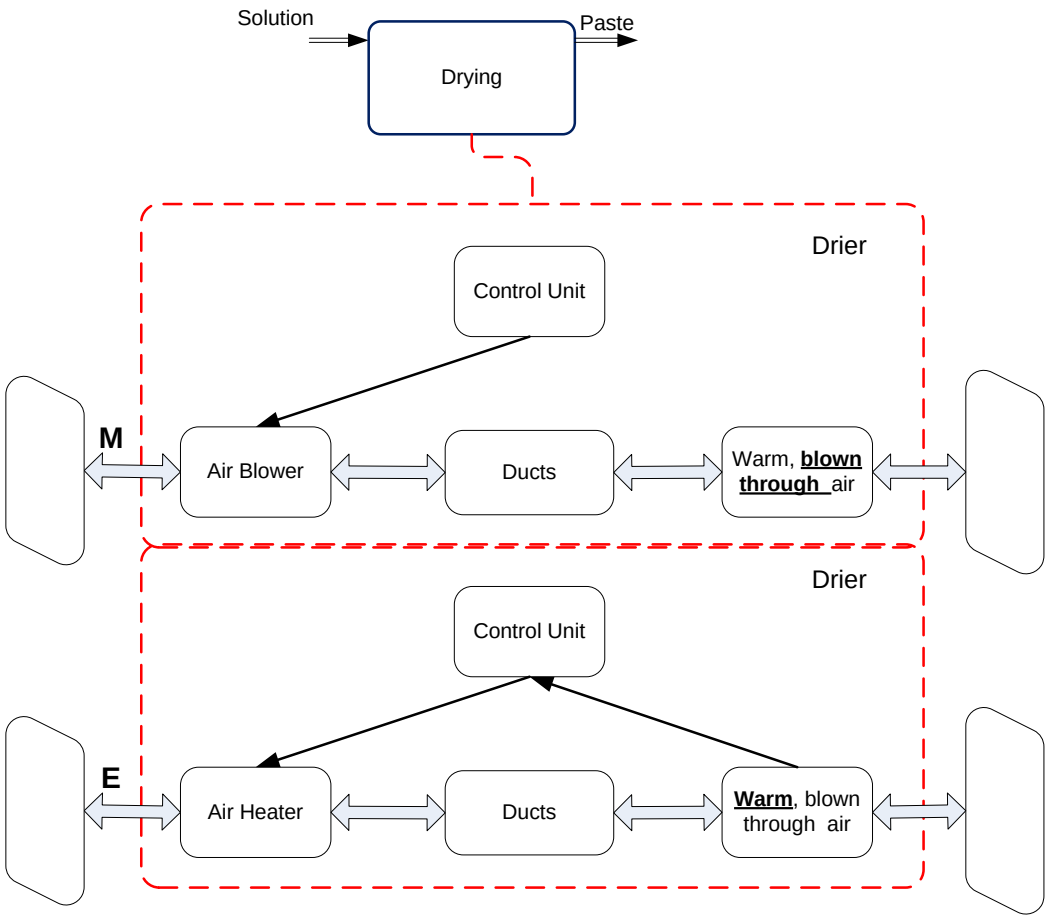




TRIZ ベースの進化解析のための機能モデリング

2. 各々の要素機能の振る舞いを最小技術システムモデルで記述する

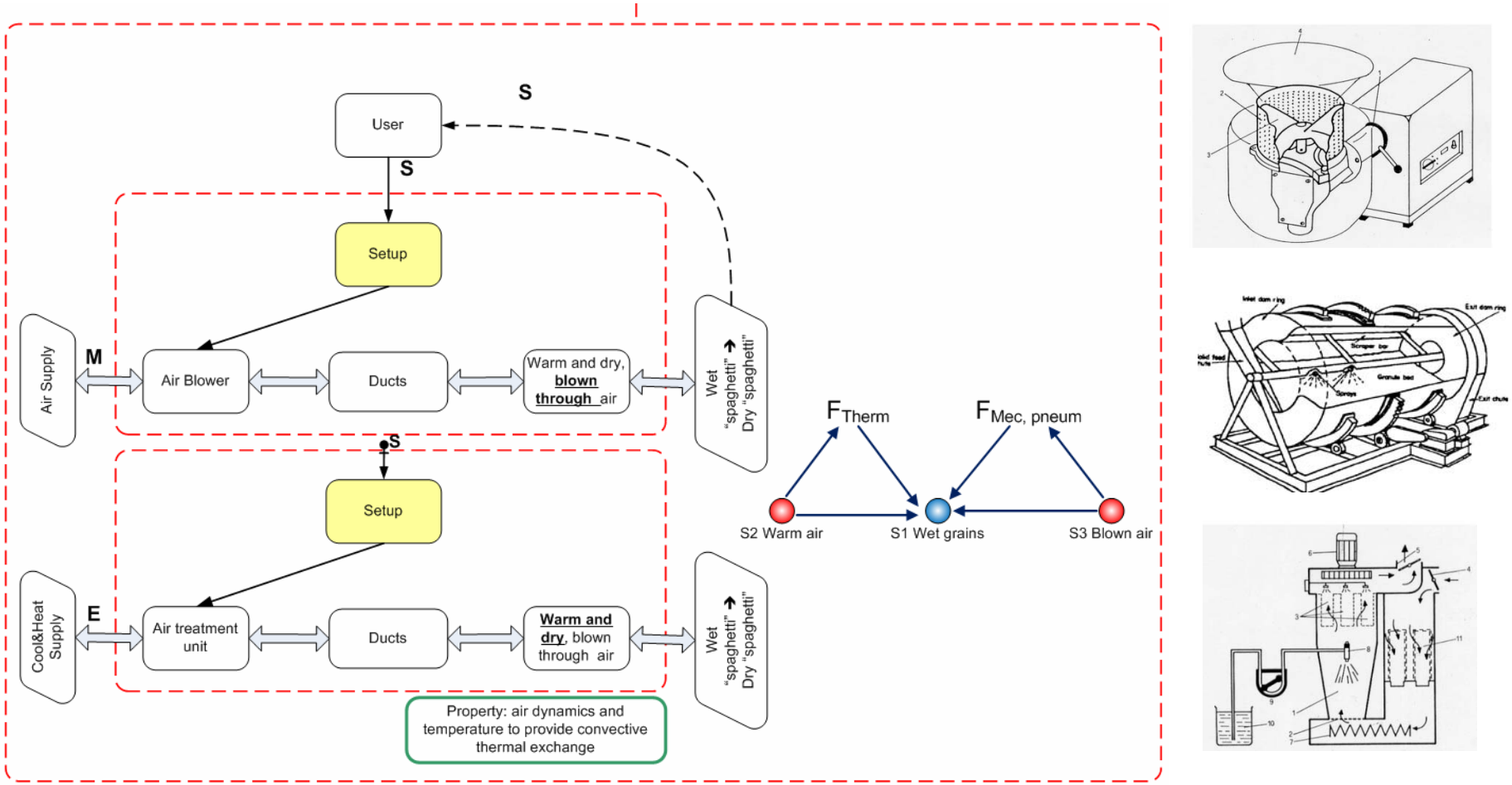
- プロダクトを識別する;
- ツール（すなわち、プロダクトに直接働く要素）を識別する;
- ツールの特性のうちどれが、製品に機能をもたらす能力を最も特徴づけるか、を決定する;
- 前のステップで定義された特性の各々について、その特性を導出するエンジンを識別する;
- 最小技術システムのモデルを完成する。すなわち、エンジンからツールへのトランスミッション、コントロールおよびコントロールと他のサブシステムとの相互作用、さらに、エンジンの外部サプライなどを追加する。



© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

TRIZ ベースの進化解析のための機能モデリング

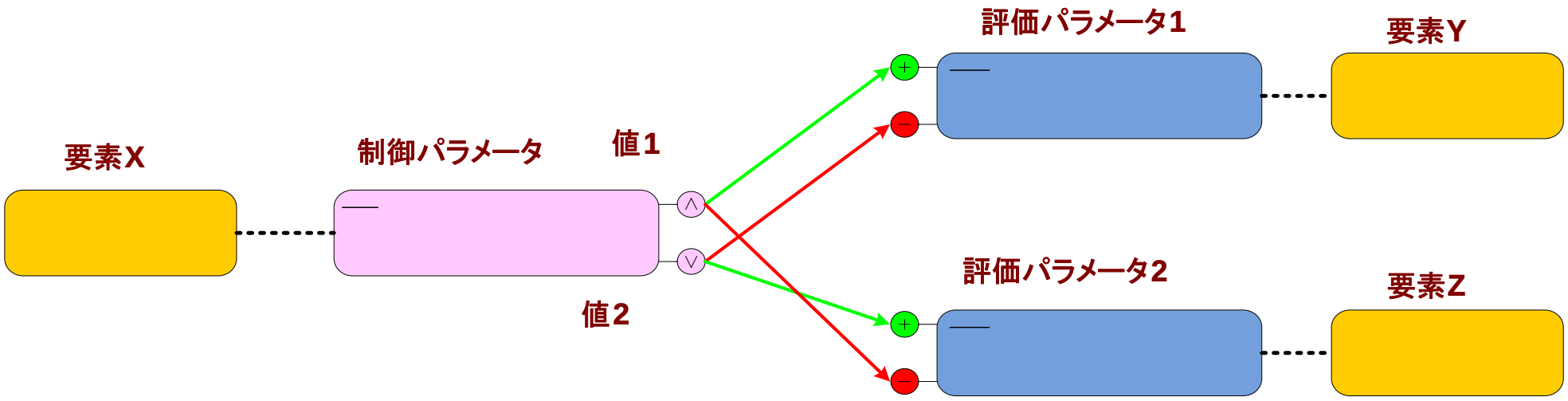
3. 最小技術システムモデルの各々に対して、**物質-場モデルの相互作用**を同定する



© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

TRIZ ベースの進化解析のための機能モデリング

4. TSの各要素機能(ステップ1でモデル化したもの)の性能を定義する**評価パラメータ**を識別する
5. 各振る舞いモデル(ステップ2で作ったもの)の有害機能とリソース消費に関係する**評価パラメータ**をさらに識別する

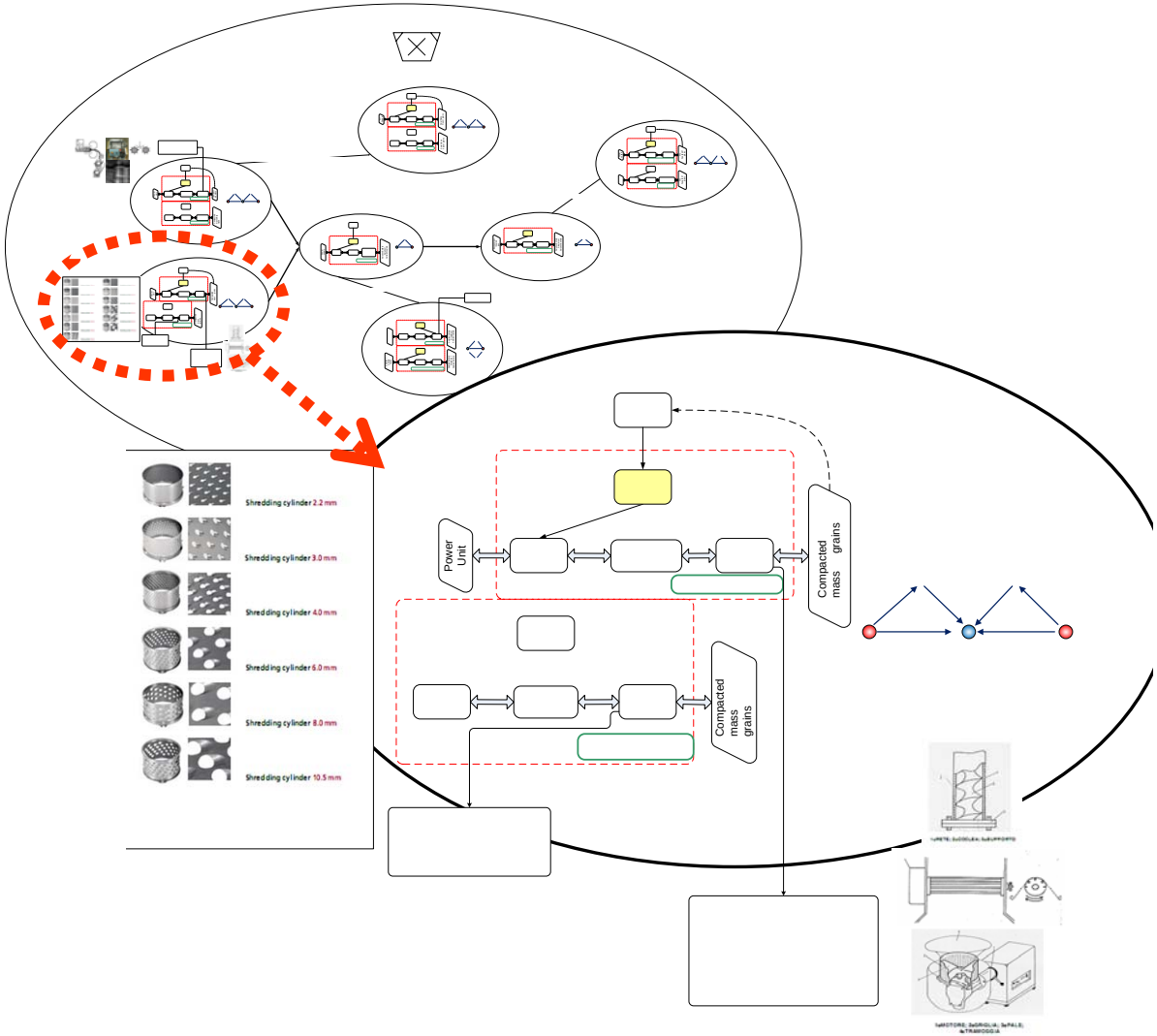


© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

進化トレンドのネットワーク (NET) を構築する

6. 進化トレンドのネットワークを構築する

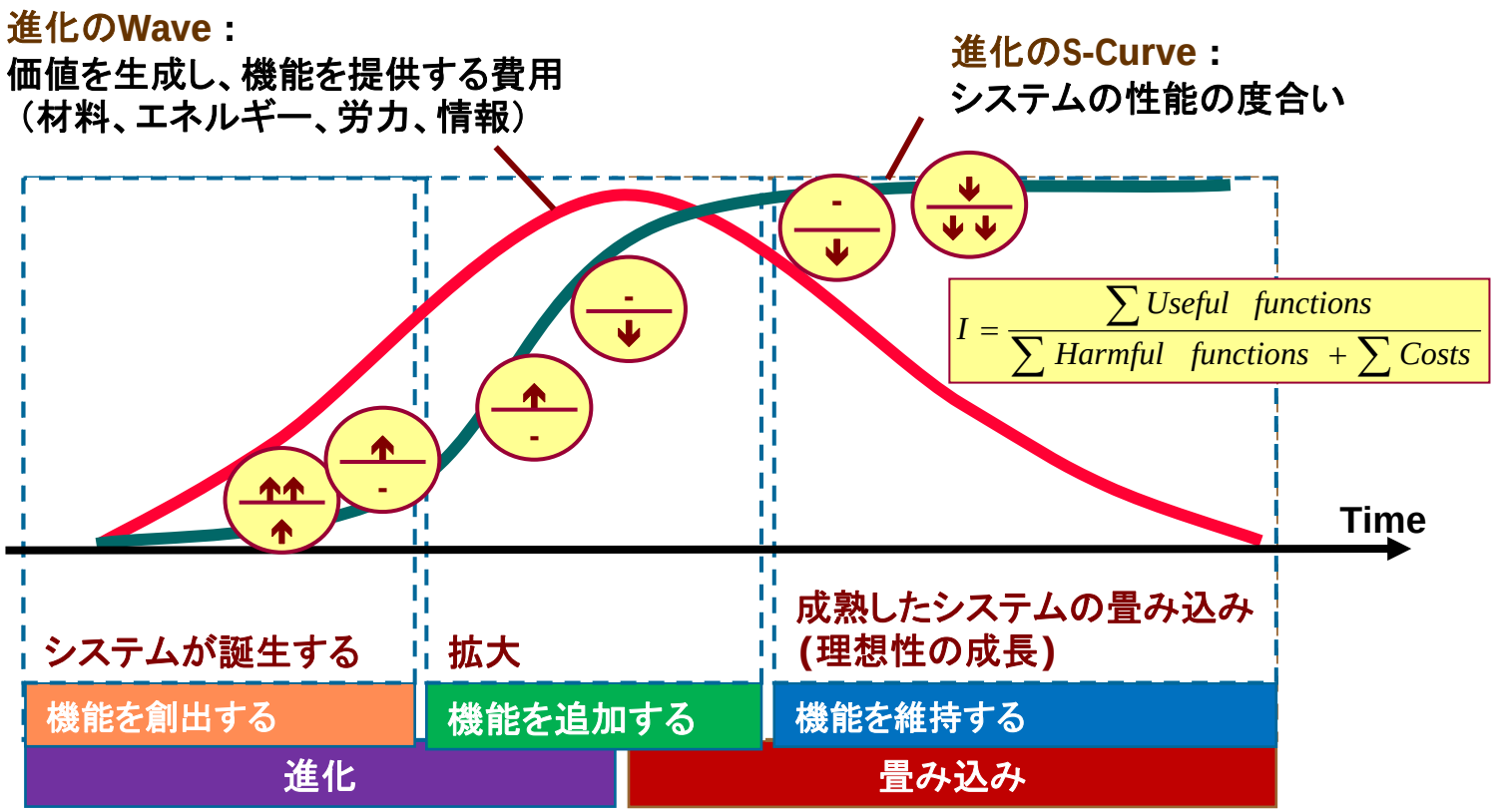
- MUFの各BMの最小技術モデルを、ミクロレベルへの遷移の法則に従い、順序づける　（振る舞いモデル（BM）の変更）
- ミクロレベルへの遷移の同一ステージ内で、BMを、システム完全性の法則に従い順序づける（外部システムや人間を想定せずに）
- MUFの各BMに対して、最小技術システムの諸要素のペア間の相互作用を解析し、TRIZの進化トレンドの法則に従って比較を行う
- 前のステップで認識されたトレンドを、ネットワークの枝として表現する



© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

矛盾と進化ステージの関連づけ

- 理想性の程度の成長は、リソースの消費と対比される (Salamatov [14] のwave modelによる)。



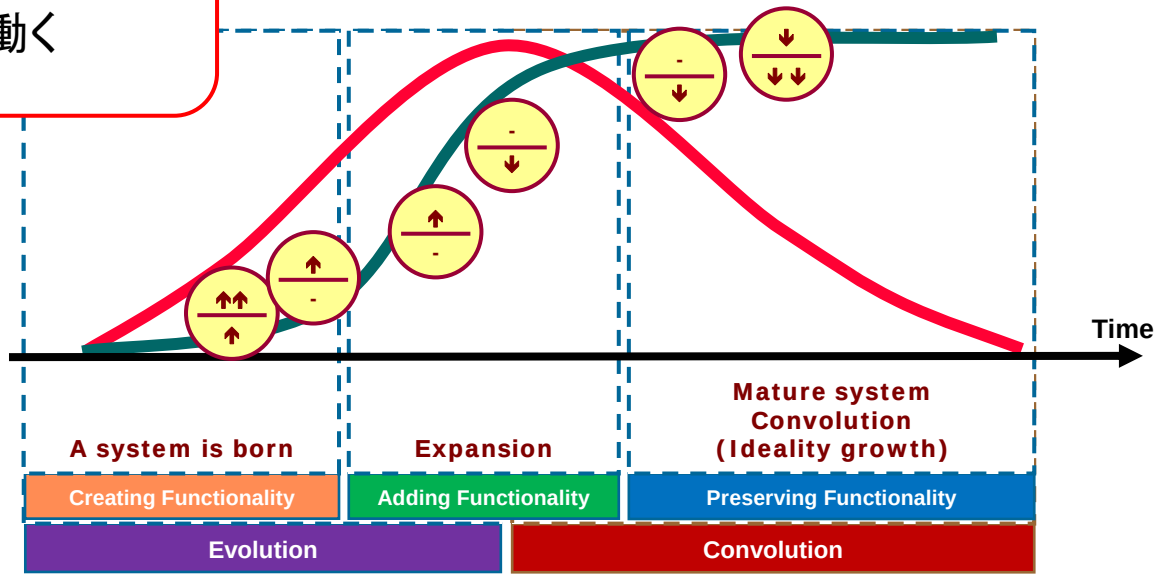
[12] Salamatov, Y.P. “System of The Laws of Technical Systems Evolution”. Chance to adventure. Karelia Publishing House, Petrozavodsk, 1991, pp. 7-174 (in Russian).

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

矛盾と進化ステージを関係づける

- 理想性に関連する評価パラメータ:
  - 主有用機能 (MUF) の性能
    - 閾値の達成
    - 多用性
    - ロバスト性
    - 制御可能性
  - 有害な機能・効果:
    - MUFオブジェクトに働く:
    - システム・サブシステム要素に働く
    - 環境に働く
  - リソースの消費:
    - スペース
    - 時間
    - 情報
    - 物質
    - エネルギー

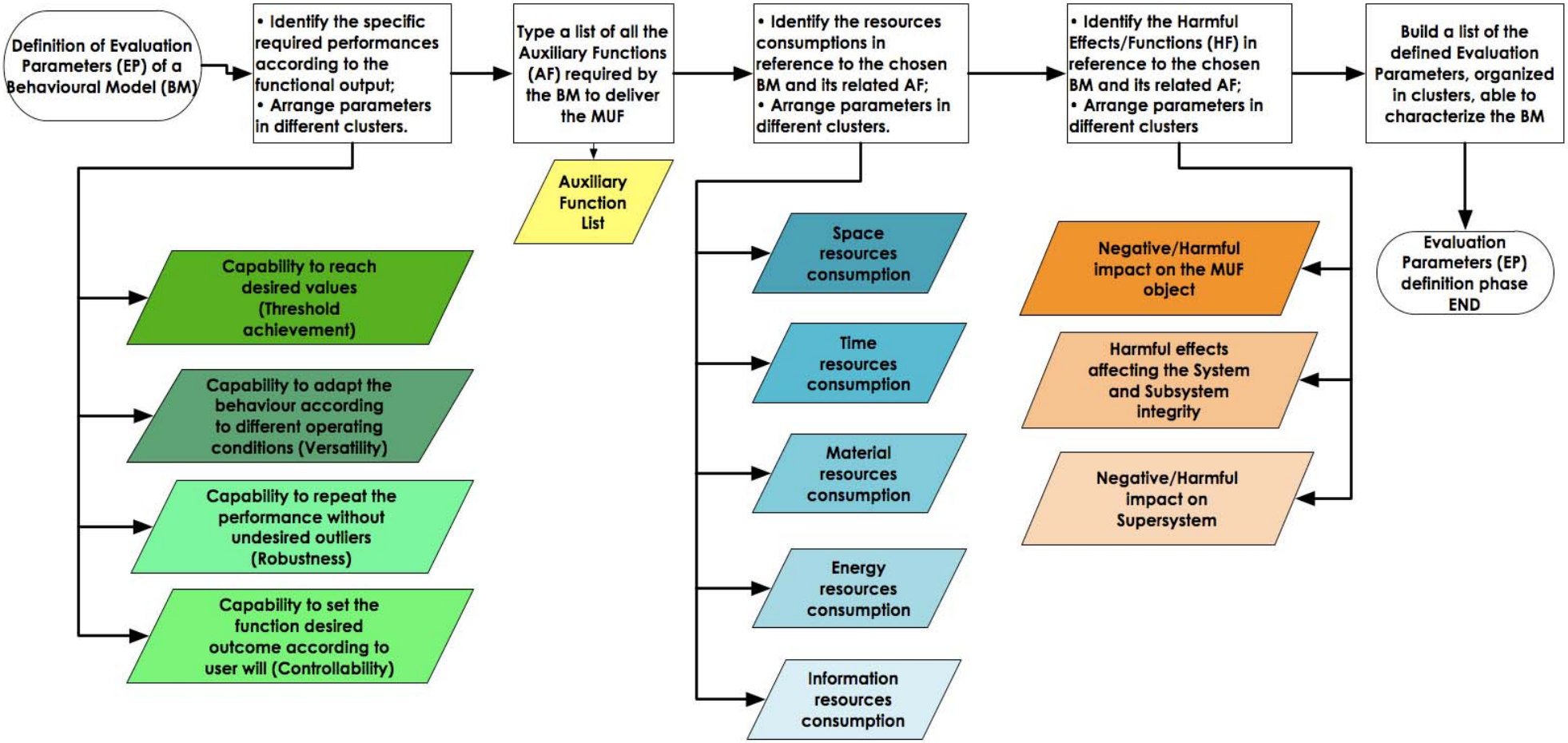
$$I = \frac{\sum UF}{\sum C + \sum HF}$$



© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

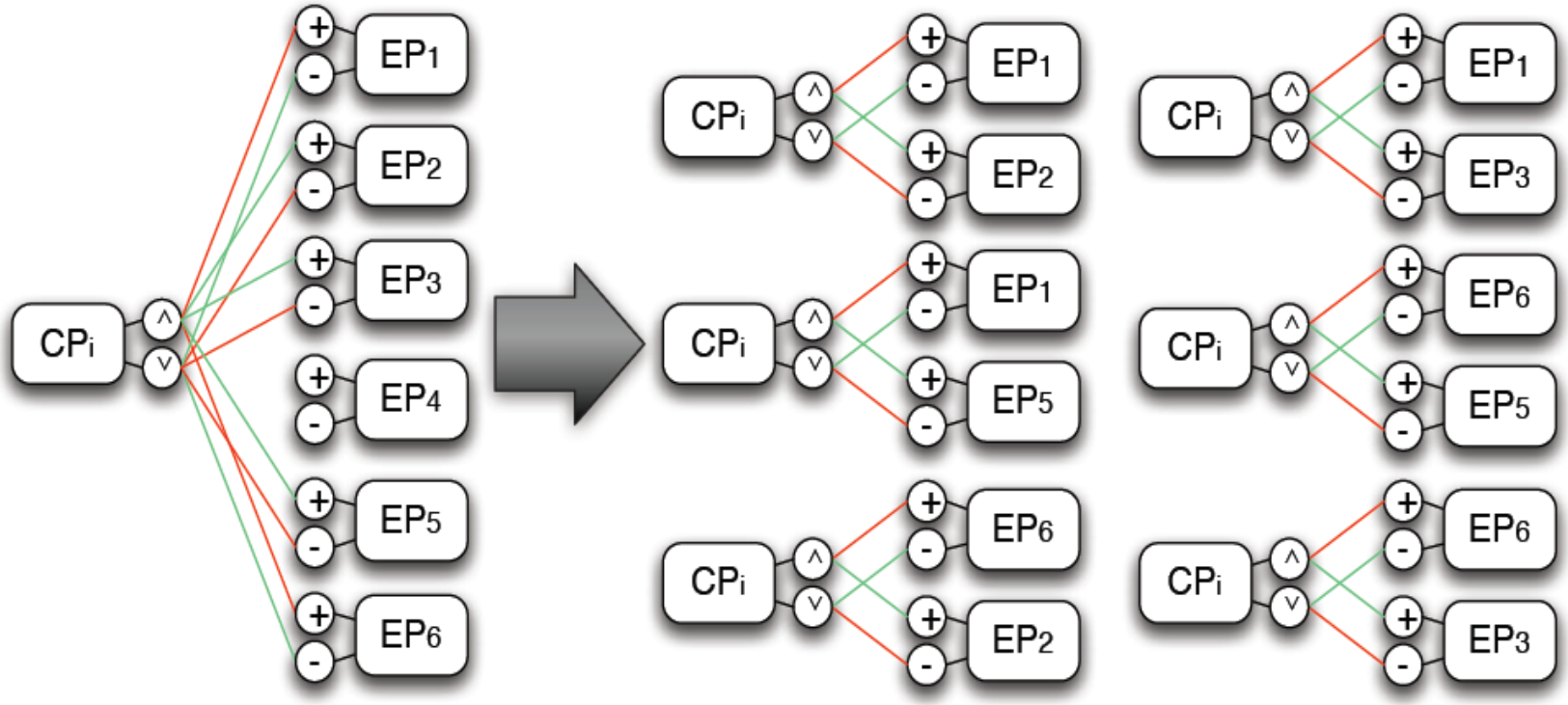
矛盾と進化ステージを関係づける

- **EP (評価パラメータ) の分類のためのアルゴリズム:**



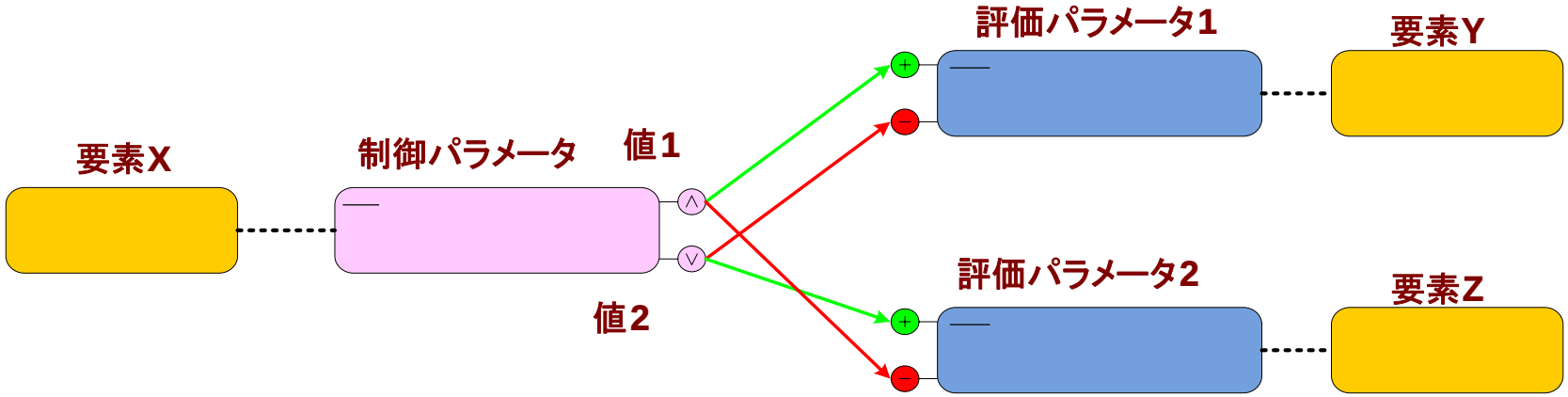
矛盾と進化ステージを関係づける

- 矛盾のネットワークから、基本形の矛盾の集合へ



矛盾と進化ステージを関係づける

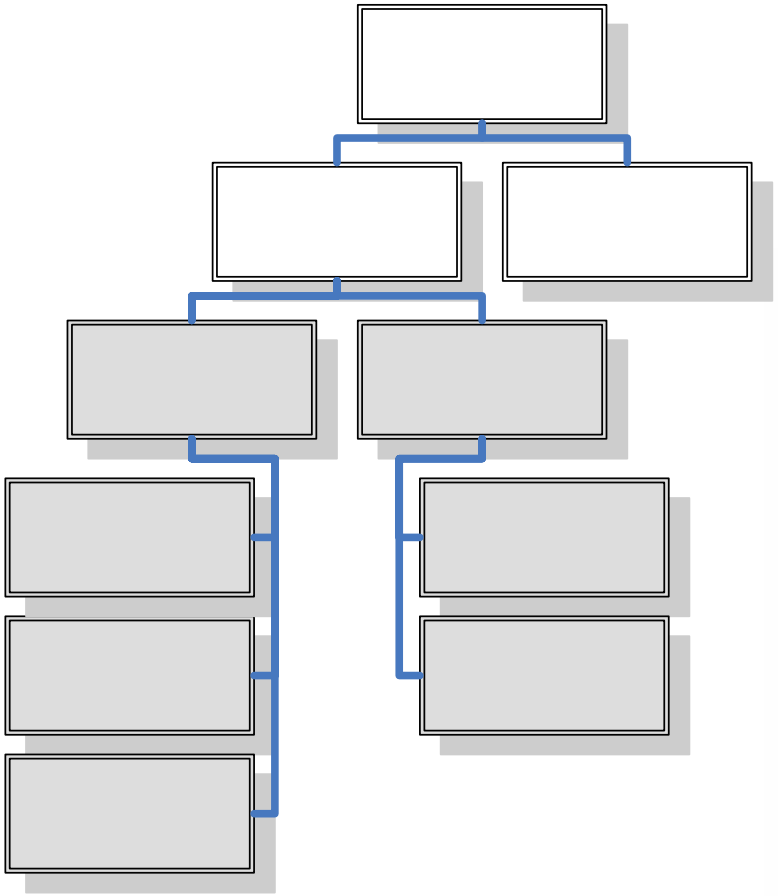
- 評価パラメータのペアの性質に基づき、基本形の諸矛盾を分類する
  - 性能 (P) vs.性能(P)
  - 性能 (P) vs. 有害機能 (HF)
  - 性能 (P) vs. リソースの消費 (RC)
  - 有害機能(HF) vs.有害機能 (HF)
  - リソースの消費(RC) vs.有害機能 (HF)
  - リソースの消費(RC) vs.リソースの消費 (RC)

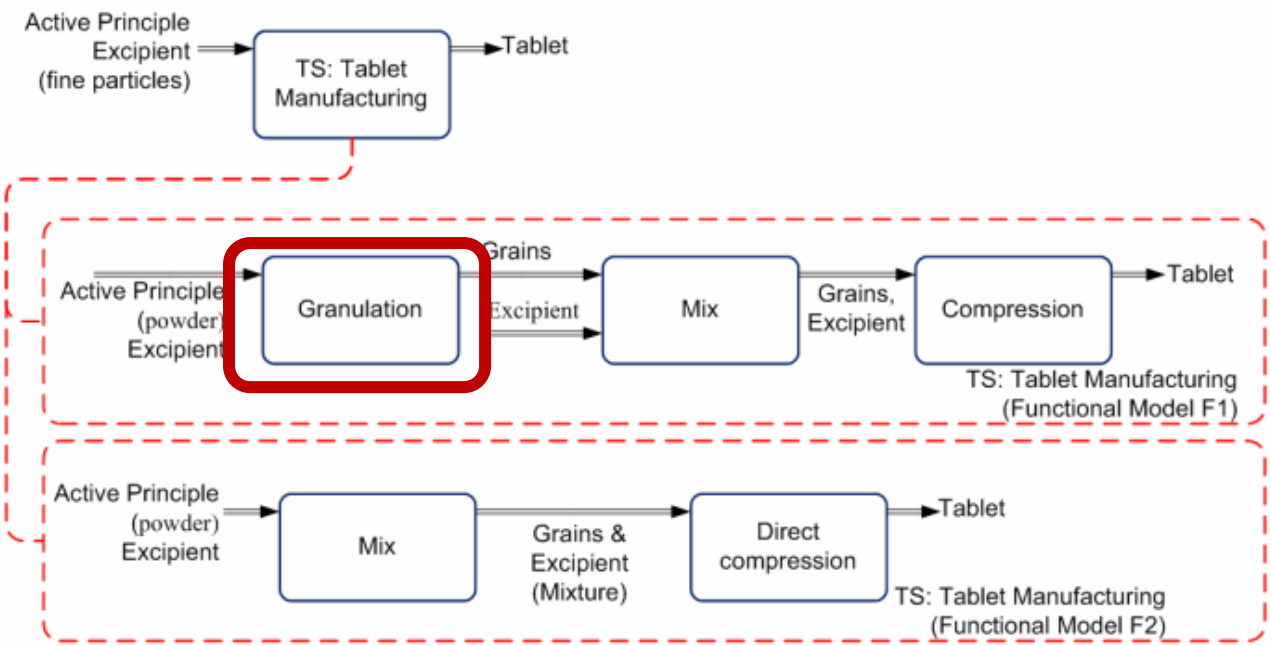


ゴール: 技術システムの発展と、振る舞いモデル (BM) を特徴づける
矛盾の進化との間の相関関係を探すこと

例示としての応用:タブレットの製造

- 薬品製造セクタにおけるタブレットの生産:
  機能解析

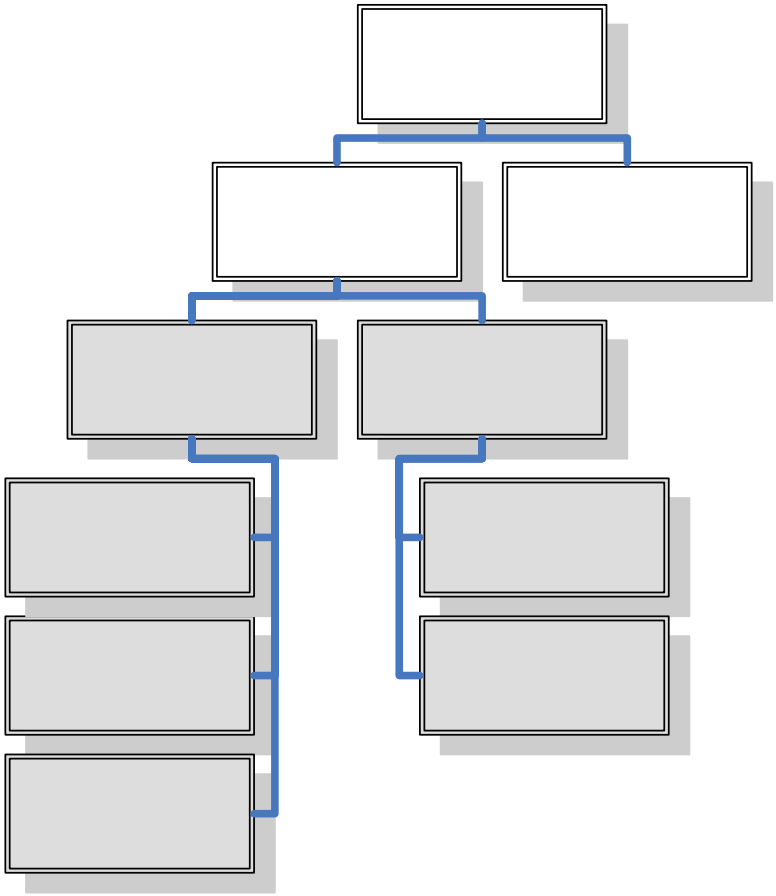




© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

例示としての応用:タブレットの製造

- **振る舞いモデル (BM):** 代替の粒化技術の基本機能に関連づけられたもの

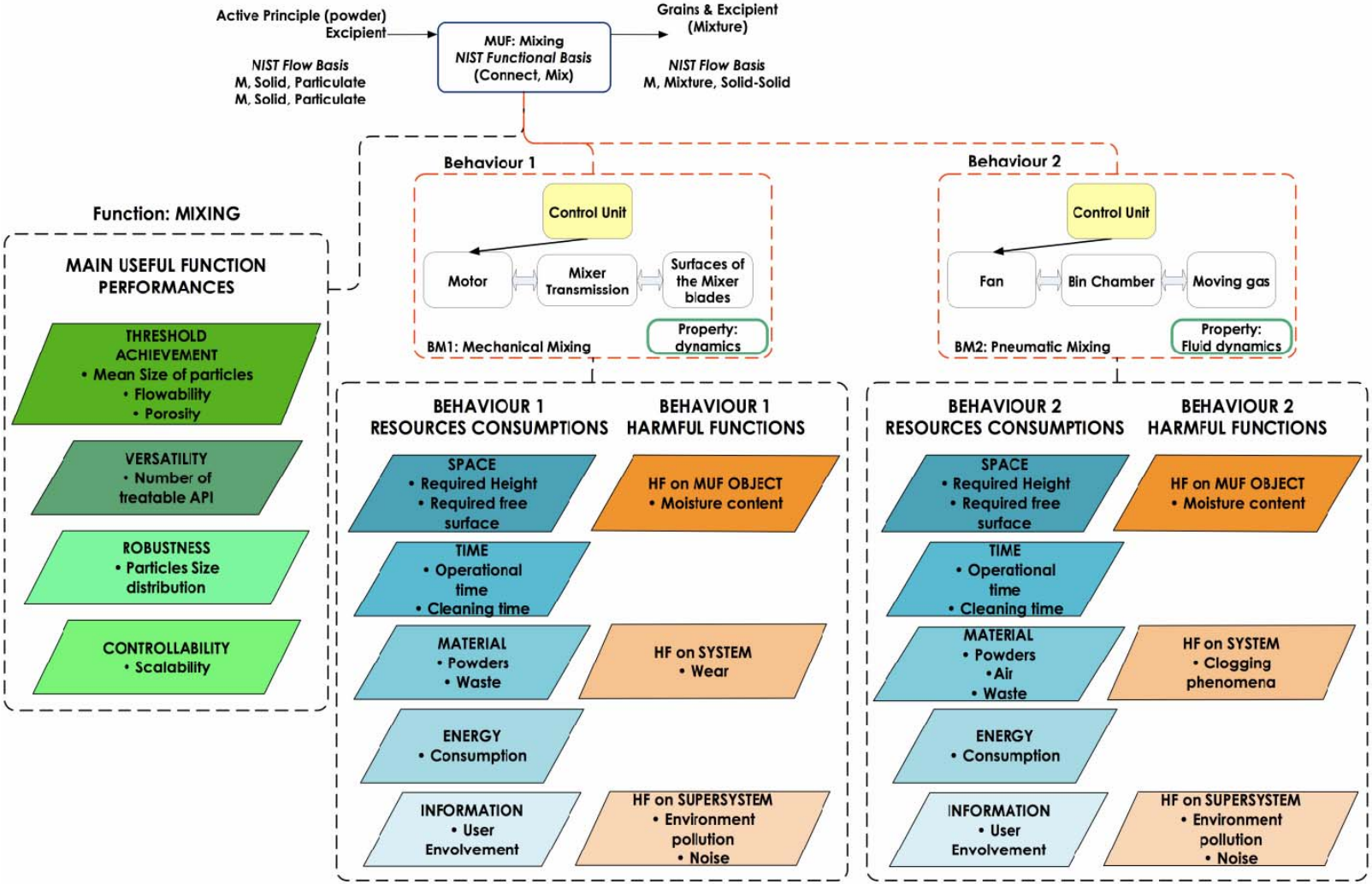


- BA1:　密閉された瓶の中で流動化させた粉末を液体結合剤により凝集させる(流体床での凝集);
- BC1:　2つの逆回転する回転ローラにより、粉末を圧縮してリボン状にする (ローラー圧縮);
- BD1:　空気圧による微粒子・粉末の運搬;
- BM1:　移動する表面により粉末を機械的に混ぜ、束ねる;
- BM2:　流体化により粉末を空気圧で混ぜ合わせる(流体床混合);
- BM3:　移動する面による粉末の混合;
- BF1:　調整済みのネットで湿った塊を機械的に断片化する;
- BF2:　振動するローラーにより乾燥物体(破片や断片)を機械的に断片化する(振動顆粒化);
- BF3: 断片を球体化する;
- BS1: 振動でふるいにかける;
- BS2: PDG スマートな断片化;
- BS3: サイクロン分離;
- BE1: 流体床乾燥;
- BE2: 暖気流による水分除去 (オーブン乾燥).

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

例示としての応用:タブレットの製造

- 最小技術システムモデルを、各々の振る舞いモデルについて構築する
- 評価パラメータを特定し、分類する



© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

例示としての応用:タブレットの製造

- 矛盾解析:各BM　について、評価パラメータ(EP)、制御パラメータ(CP)、および矛盾を特定する。

BM (振る舞いモデル)	EP (評価パラメータ)	CP (制御パラメータ)	矛盾数	成熟レベル
BA1	19	43	1127	G
BC1	22	16	633	E
BD1	20	16	553	E
BE1	19	23	445	G
BE2	19	22	456	D
BF1	19	18	319	D
BF2	21	18	537	G
BF3	18	14	274	E
BM1	18	29	464	D
BM2	19	29	518	G
BM3	20	19	521	G
BS1	21	11	239	D
BS2	21	26	869	E
BS3	21	21	566	E

問題領域のメタ専門家が推定し、TRIZの進化の法則で示唆される順序と定性的に比較して検証したもの。

- E = 勃興中
- G = 成長中
- D = 退行中

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

例示としての応用:タブレットの製造

■ 矛盾解析:BM (振る舞いモデル) 間での矛盾の分布

	P vs P	P vs R	P vs HF	HF vs HF	HF vs R	R vs R
BA1	5,5%	39,8%	16,8%	3,9%	18,7%	15,4%
BC1	13,6%	37,3%	24,2%	2,1%	12,0%	10,9%
BD1	8,0%	44,5%	24,6%	4,5%	11,6%	6,9%
BE1	2,5%	45,8%	15,7%	3,4%	18,0%	14,6%
BE2	2,4%	27,9%	14,9%	7,7%	27,2%	20,0%
BF1	5,6%	42,6%	13,8%	0,9%	10,7%	26,3%
BF2	3,7%	34,6%	26,8%	5,6%	18,2%	11,0%
BF3	15,0%	44,2%	22,3%	0,4%	8,0%	10,2%
BM1	2,2%	42,7%	14,9%	0,4%	11,4%	28,4%
BM2	3,5%	38,8%	13,9%	4,2%	21,2%	18,3%
BM3	1,5%	43,4%	26,3%	1,3%	11,7%	15,7%
BS1	0,0%	26,8%	30,1%	5,0%	22,6%	15,5%
BS2	7,6%	30,5%	25,4%	7,2%	18,4%	10,8%
BS3	5,8%	41,0%	21,4%	6,2%	16,3%	9,4%
最大	15,0%	45,8%	30,1%	7,7%	27,2%	28,4%
平均	5,5%	38,6%	20,8%	3,8%	16,1%	15,2%
最小	0,0%	26,8%	13,8%	0,4%	8,0%	6,9%
標準偏差	4,4%	6,3%	5,6%	2,5%	5,4%	6,3%
標準偏差/平均	79,7%	16,4%	27,1%	65,1%	33,7%	41,3%

技術プロファイル	性能 vs. 性能	有害機能 vs. 有害機能	リソース vs. リソース
勃興中	41,6%	17,9%	40,5%
成長中	14,8%	16,7%	68,5%
退行中	8,4%	17,6%	74,0%

BMにおける矛盾の平均パーセンテージを、
同じ進化ステージについて関連づけたもの

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it

結論と今後の課題

- 著者らは既にNETモデリングの方法を、4つの拡張ケーススタディで試行した（身体障害者用の歩行器、木材ペレット生産、飲料コンテナへの滅菌封入、タブレット生産） (2007年9月～ 2009年3月)
- 結果： 構造化したシナリオのセットを定義し、会社の経営陣が**最も適切な投資の方向**を選択するのをサポートした。
- アルゴリズム全体は今後拡張（ビジネスプロセスリエンジニアリング）や改良ができようが、その最初の部分（**システム解析**）は、**効果的で再現性がある**ことが証明された。
- ここに提案した**技術成熟度評価**は、矛盾の性格に基づいた評価基準をもち、技術システムの現在の開発段階を特徴づけるもので、有望な結果を示した。そのさらなる応用への試行を継続して行っている。

© 2008 Gaetano Cascini – gaetano.cascini@polimi.it