

御 祝 と 御 礼

「公益財団法人天田財団」 殿

**貴財団の設立30周年、誠に喜ばしく、
心よりの敬意とお祝いを申し上げます。**

**貴財団より金属加工研究に賜りました
多大のご支援に、厚く御礼申し上げます。**

**本記念式典に、ご招待と講演の機会をいただき、
大変光栄に存じます。重ねて御礼申し上げます。**

東京大学名誉教授 木内 学 2017.11.25.

VER.C

(公益財団法人) 天田財団・創立30周年記念講演

金属加工技術 挑戦そして限界突破への道

2017年 11月 25日

東京大学名誉教授・木内研究室代表

木 内 学

講演内容

1. 序論・現状をどう捉えるか？
2. 技術の力・人間の力
3. 求められる変革力
4. 思考論・思考法の活用
5. 限界への挑戦
6. 総括・基盤知力の強化を !!

以下で云う、「知／知識」とは、人間の知的思考や知的行為・活動の所産・成果・結果 等の総体を意味し、いわゆる、知識・情報・データ (KID) を含むものとする。

1. 序論

現状をどう捉えるか？

金属加工は限界に直面している？

技術が保持すべき力は十分か？

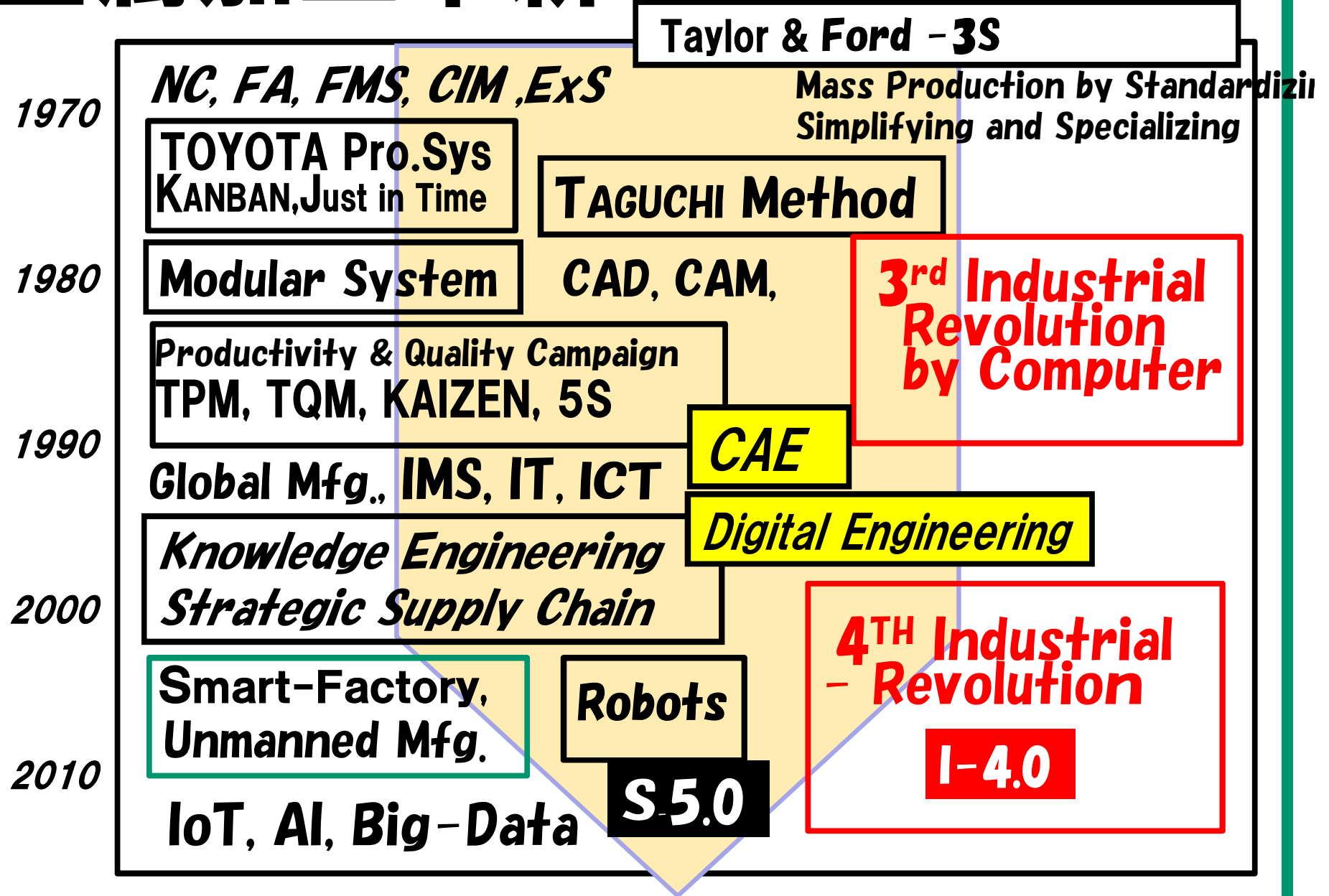
(価値創出力)	如何なる価値を、何の為に、創るか、
(進化成長力)	如何なる可能性を追究するのか、
(発展創造力)	改革・発展への道程が見えるか、
(未来構想力)	目指す未来は如何なるものか、

金属加工の“自立的発展能力・機能”

が低下しているのか？、であるならば何故か？
かかる問題に取り組む有効な方策はあるのか？

本講演では、金属加工技術に関して、現在および将来の
検討課題や取り組むべき方法論・方策について考察する。

金属加工革新の方法論 (経緯)



方法論の流れをどう見るか

従前、枠組み論、コンセプト論、方法論、方策論、は、

- ▶ 発展途上の新技術分野の枠組みの構築
- ▶ 期待される重要技術の特性の整理と体系化、
- ▶ 中核技術と周辺技術の関係性の明確化、
- ▶ 当該技術成果の総括と将来への展望、

等を通して、以下の役割を果たしてきた。

- ▶ 当該技術・分野の発展を先導・支援・補強する、
- ▶ その成果を基盤とする新たな発展を誘導する、
- ▶ 同じく、その社会的・技術的意義・重要性を示す、

**但し、これらは、技術活用手段であり、
技術そのものを生み出す手段ではない！！**

近年、新プロセス・新技術が登場

従来プロ・技術の発展



高精細数値シミュレーション

超精密製品・マイクロパーツ

TMCP加工・TMCP圧延/鍛造

On Demand Mfg., Flex Mfg.

ロボマシン, 人-ロボ協働

Cloud Inno. Intelli.-Eng'g

etc

新プロ・技術の開発



CIM, ICT, IoT, Net-Mfg.

AI, VR, B-D, Intelli.-CAE

Print, Additive, Laser F.

Remote-Sen., Smart Fact.

Meta-Phase-Processing

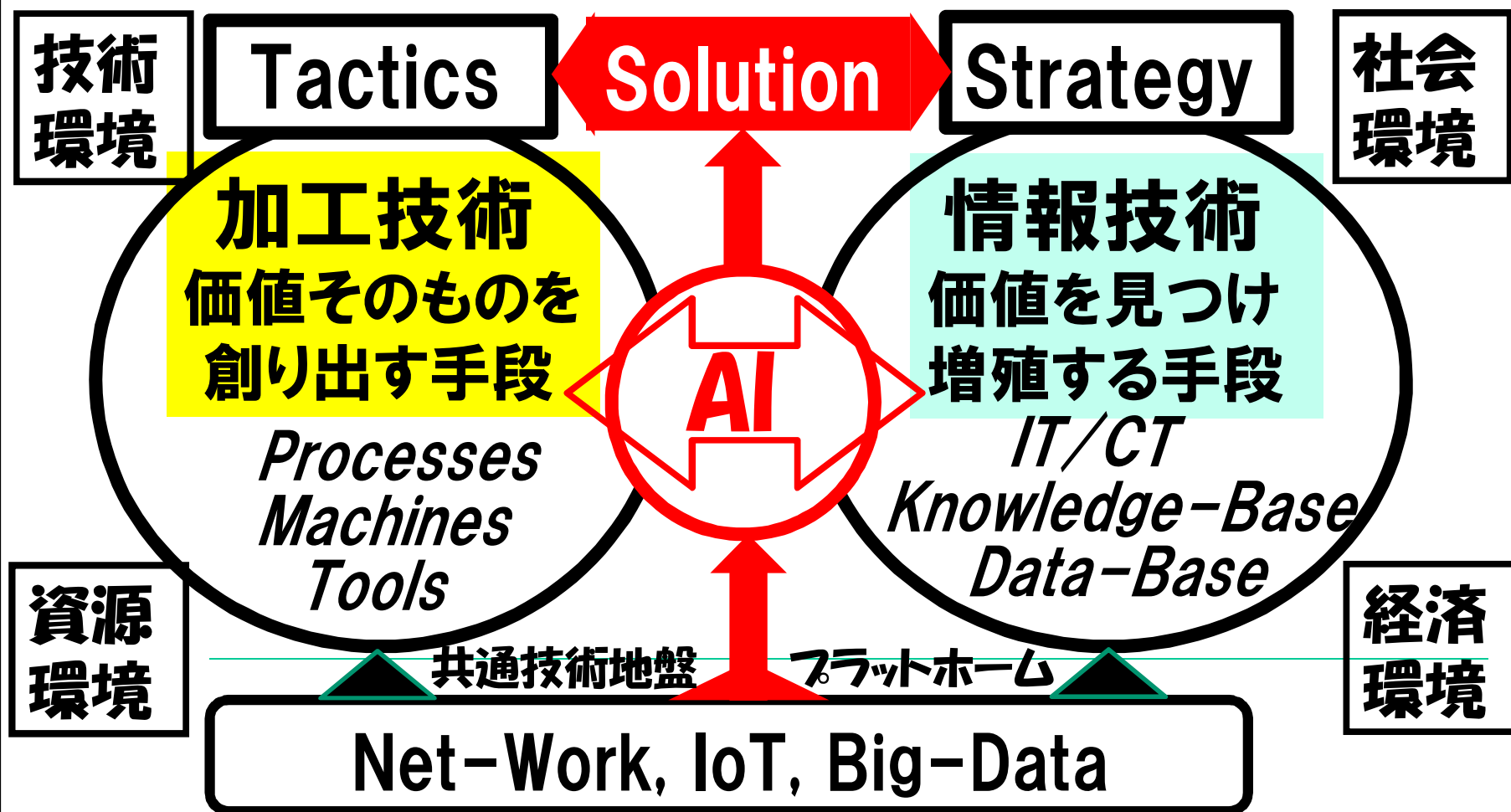
創質・改質、3R-Process

etc

新技術・新プロセスは、金属加工の先導者たいて得るか？

加工技術と情報技術の関り

金属加工における「加工技術」と「情報技術」の関係は複雑であり、共存、協働、共生、競争、等の側面を持つ。



情報Netの機能と役割

ICT Net-Work

解析・評価・創成

IoT Net-Work

Cloud Computing
Open Application

Open Innovation

Exclusive IoT
Independent AI

Remote Engineering
Divided Manufacturing

← 共用・連結 — 利用軸

利用軸 — 専用・独立 →

Open Library
Open Data-Base

Supply Management
Time Sharing

Closed Data-Base
Specified Big Data

Remote Monitoring
Remote Sensing

ICT / IoT / AI

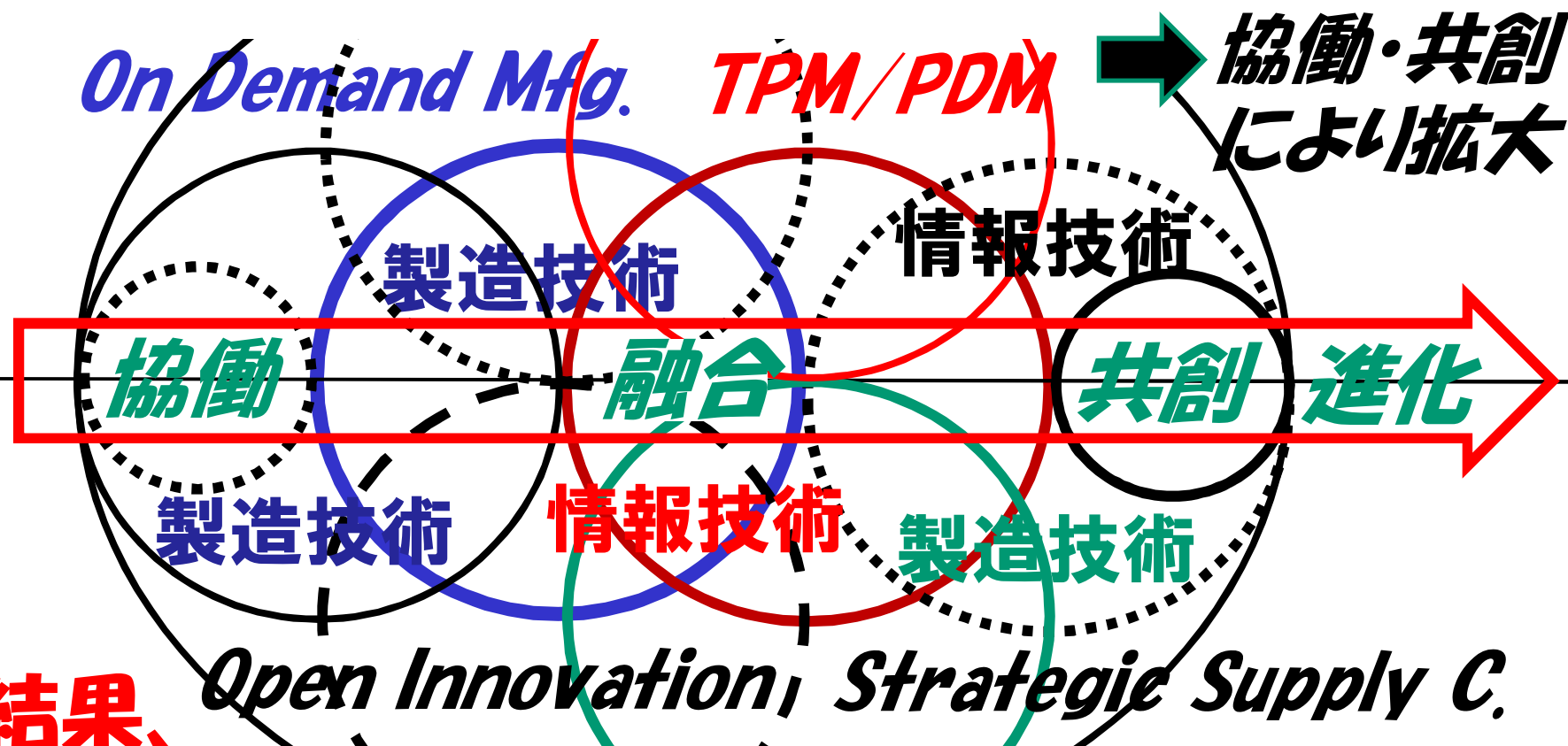
伝達・収集・保存

= 「進化のSolution」 そのものではない !!

一方、現実社会では、

製造・情報の混合Netが拡大中

モザイク状の共生・競争的ネットワーク



結果、

利得の奪い合いが多々起きている！！

NETの核として金属加工の役割大

特性・機能・品質・環境適合性等

複合加技
接合・分割
異形・Clad
Tailored S.

極限加技
完全恒温
半熔融
超高压

**省エネ
資源
無廃棄
3R加技**

**持続的発展
技術的優位**

人・Robot協働

大歪加技
高せん断
超延伸
超圧縮

**組織・構造
制御加技**

超Flex加技システム

統合連成加技システム

加技の多元化・技術複合化

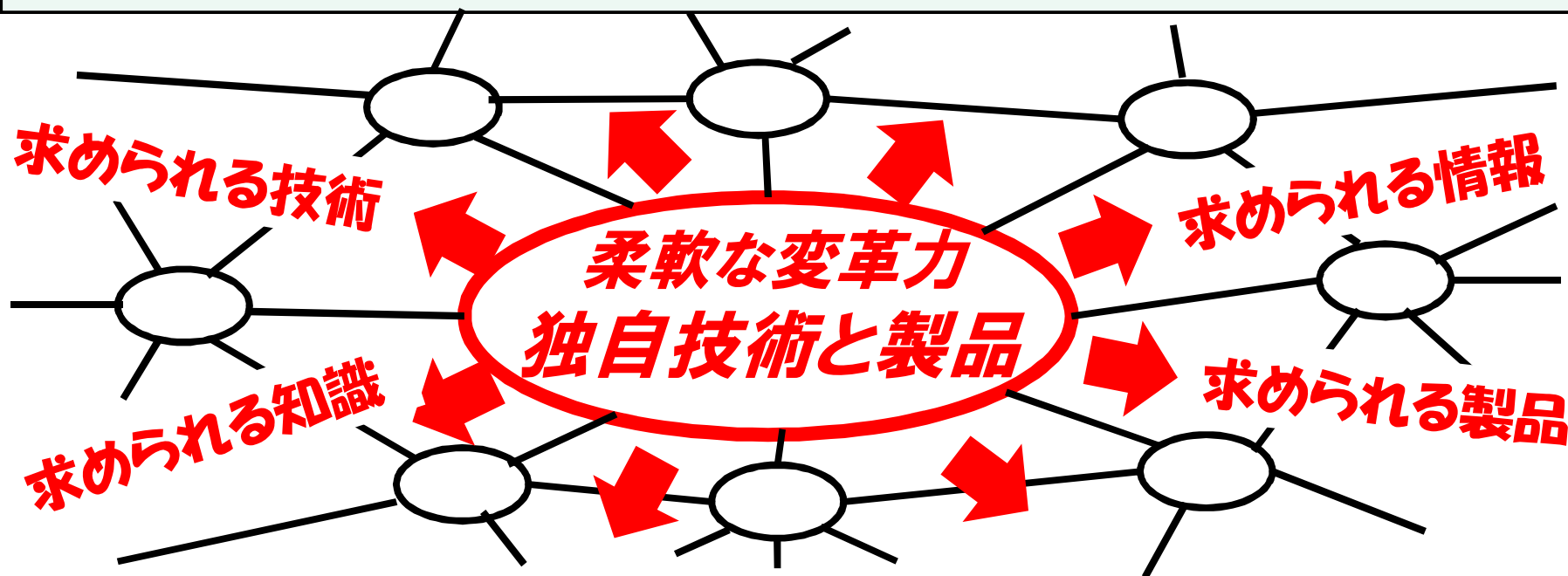
製造ラインの智能化・完全無人化

製造機械・設備・ラインのダウンサイジング

コスト、効率、生産性、省エネ、省資源 等、

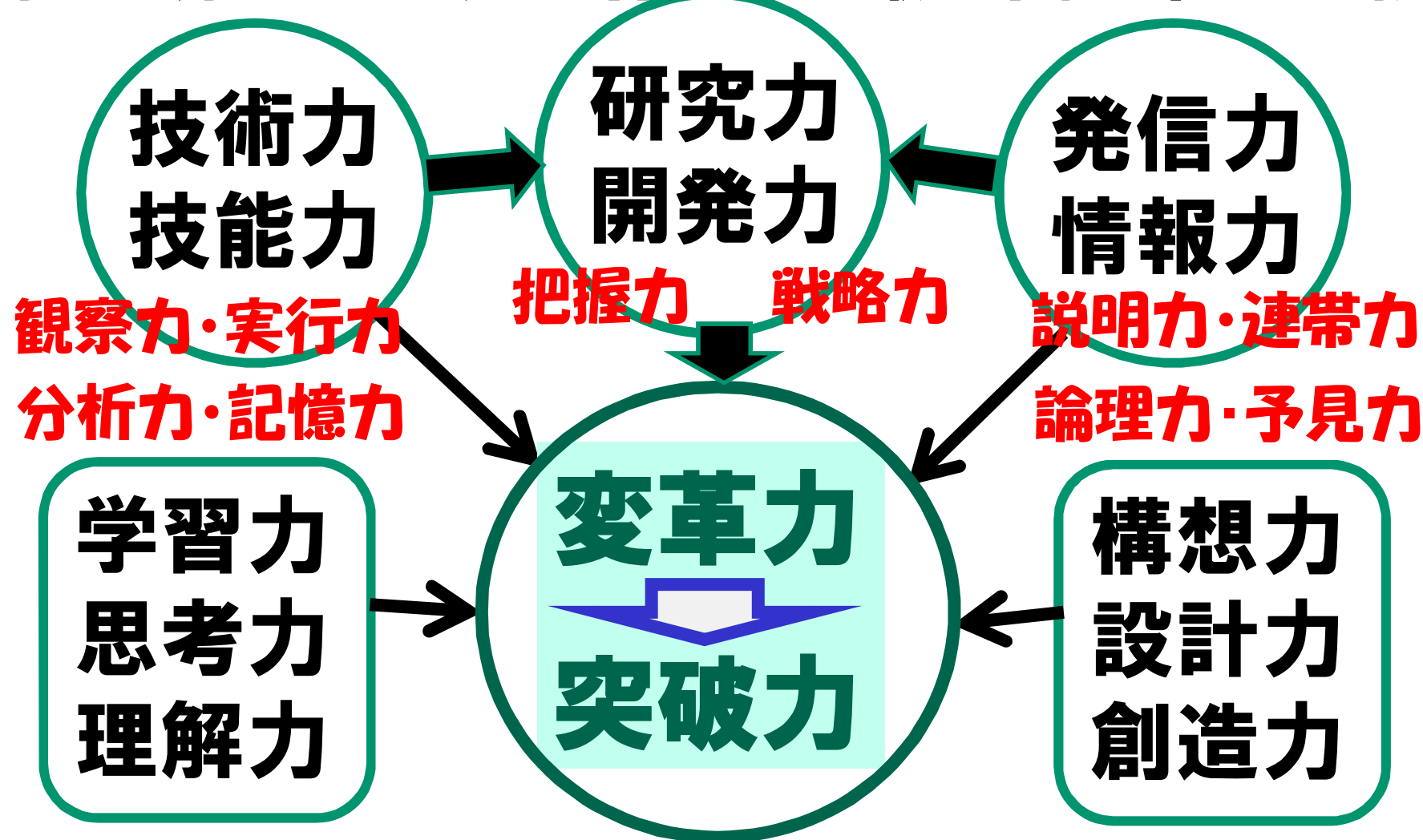
高度情報化産業社会の核を成す構成員の 必須要件＝独自技術と変革力

自らの“Identity”を発信するためには、固有の技術・製品を持つこと、他に優れた技術優位性を保持することが、必須である。単なる一員として組み込まれれば、発展の機会を失う。



幅広い基盤知力が変革力を生む

原理・原則の理解と活用・俯瞰的關係性の把握



ここまでの小括ー1

高度情報化工業社会にあって、ICT, IoT, AI, BD, 等を基幹媒体として、**製造技術と情報技術の融合、結合、混合等一体化が 進行・拡大している。**

製造技術と情報技術の協働により、大きな成果が生まれる一方、**両者の間で、利得の奪い合いも起っている。**

個々の加工技術や製品が、グローバル・多様な **Net-Work** の中に組み込まれ、埋没して、独自の発展の機会・能力を失う恐れ も高まっている。

製造業の基盤を担う金属加工は、**独自の技術力・変革力** を保持して、**Identity と 利得** を守る必要がある。

ここまでの小括－2

強力な技術力・変革力の構築は、一部のプロパガンダ情報の後追いではなく、

- (1) 基本工学・基盤技術に関する 幅広い
学習 と 理解の深化、
- (2) 各個技術 の 深耕、可能性 の 追求、
- (3) 知識・情報の蓄積と多面的柔軟な考察
- (4) 全体を俯瞰する構想と実践計画、

等によって成されることを知るべきである。

2. 技術の力・人間の力

技術には多様な発展力がある、
人間には無限の創造力がある、

どう生み出し、
どう育てるか？

技術事象の階層構造

金属加工
技術
総体事象

(例)
Hot Stamping

部分複相事象1

部分複相事象2

(例) Press Forming

部分单相事象1

部分单相事象2

(例) Quenching

素事象 1

素事象 2

素事象 3

.....

.....

.....

.....

素事象 n

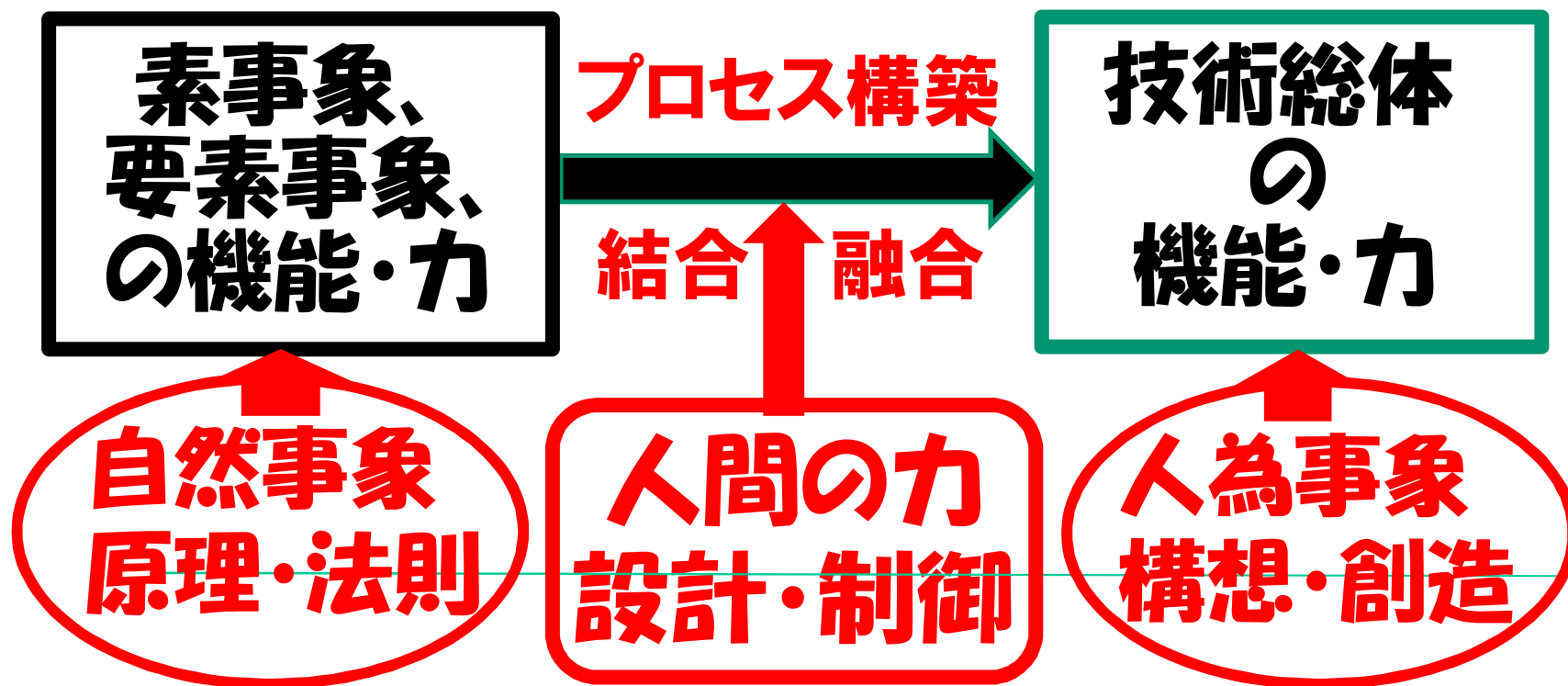
変形
加熱
冷却
etc

総体技術事象)は、(1) 部分複相技術事象、(2) 部分单相技術事象に、更に、(3) 技術素事象に分解される。

- ▶ (技術) 素事象は自然界の法則に従って発現する。
- ▶ 素事象の力の総合が、技術総体の力・効果となる。

技術の発展力（可能性）

技術の各事象には、固有の力（可能性）が内包されている。それらを引き出し、組み合わせて、望ましいプロセスを構築し、狙いとする加工の実現、求める製品の獲得、などが出来る。その組み合わせは無限である。



技術の力を引出すのは人間の力

技術の素事象 は、自然界の法則に従って発現する。そのメカニズムや発現の結果を、人が変更する事は出来ない。

人間が出来ることは
— 総体の素事象への分解、
— 未知の素事象の発見、
— 素事象の支配則の解明、
— 発現条件の付与・制御、

積知改質の法則

- ・ 素事象 の選択・結合、
- ・ 発現形態・拳動制御、
- ・ 総体技術の最適構成

分解到理の法則

- ・ 所要の成果の獲得、
- ・ 総体技術の修正・改善
- ・ 新技術構成の考案 etc

目標達成技術の開発 !!

...

...

技術を発展させる人間の創造力

技術には固有の成長力、人間には無限の創造力

技術開発力や技術革新力は、技術論・手法論、効率論・効果論のみからは生まれない。基盤的な知識、各技術事象の深い理解、広い視野、豊かな理念、等が必要である。

創造的目標・進化的課題の発見と追究には、思考力・構想力の強化が不可欠である。それらは、学習と経験により強化拡大されるが、未来社会建設への視点や、変革を先導する覚悟等を持つことにより、更に強化される。

技術が持つ未来を志向する革新力・突破力を活かすには、技術と人間・社会との関わりや、その文化・文明的役割についても考察し、理解・理念を深めていく必要がある。

技術の力を引き出す

人の創造力とは？

- ・創造的な人材・技術・製品の重要性・
必 必要性が叫ばれている。

- ・しかし、どのようにすれば、創造性を
獲得 獲得し、高めることができるのか？

「創造」とは多面的な知的活動

知の収集
学習・理解

発想 / 触発・誘導・感応・類推

連想 / 対比・分別・連結・合成

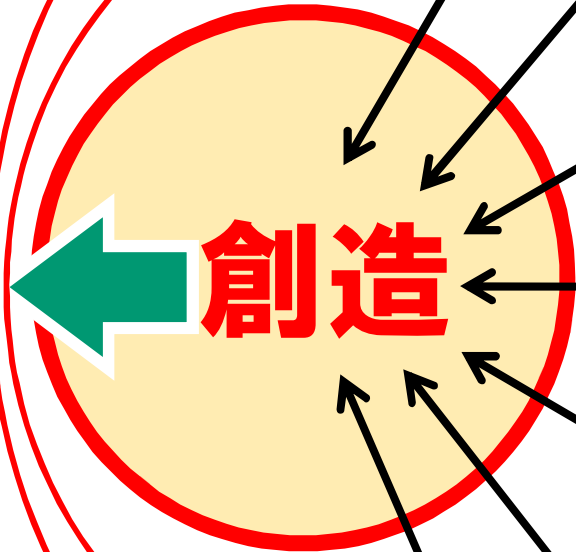
帰納 / 抽出・分析・認知・整理

理解 / 関係・認識・複合・統合

演繹 / 特性・解析・法則・拡張

統合 / 構造・体系・探索・構築

予見 / 推定・仮想・直感・検証

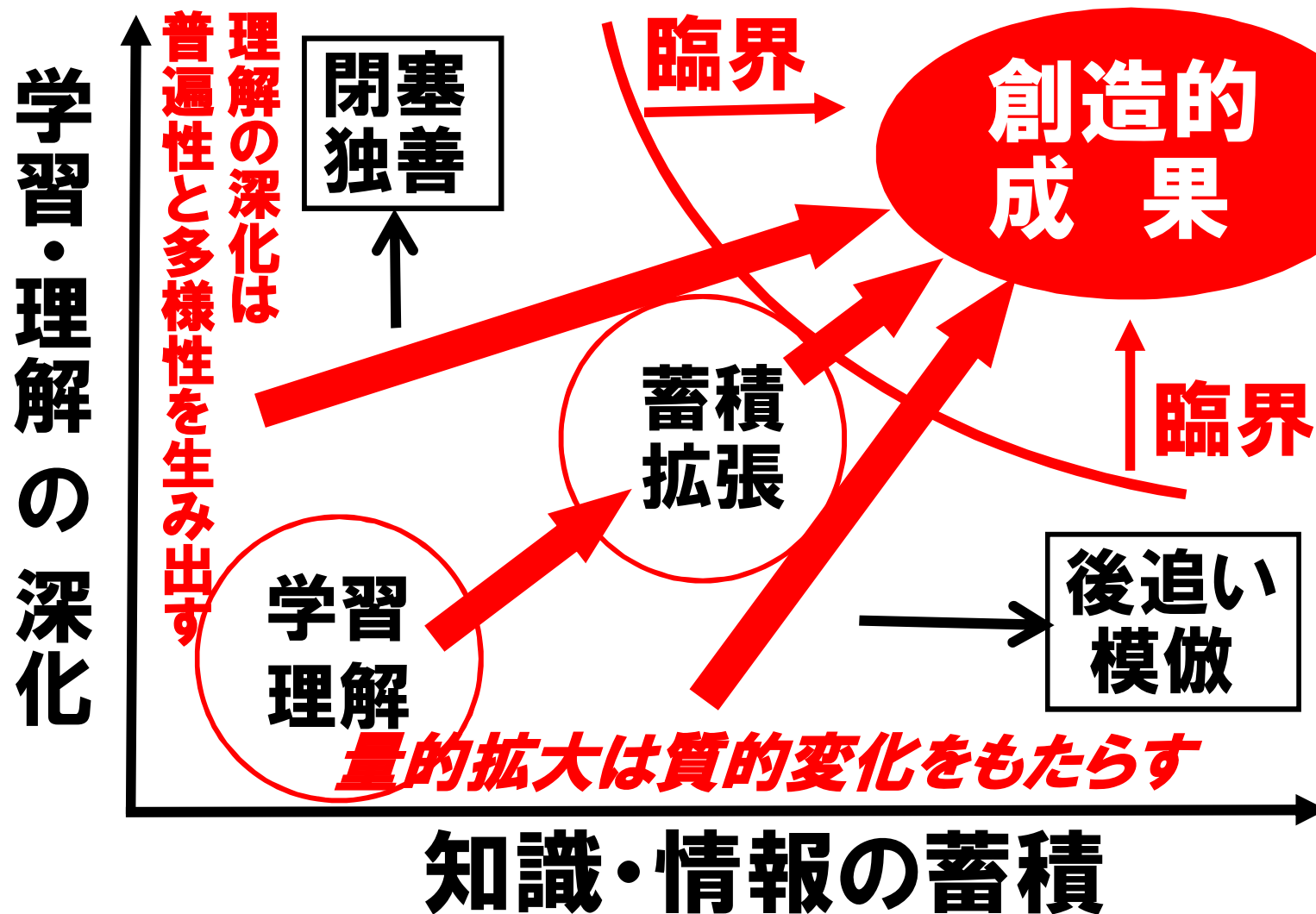


関係の深耕
知の再構築

創造的であるためには？

- * 幅広い知識・情報・知見・経験を持っている、
- * 関係がある原理・原則・法則を知っている、
- * 現象・メカニズムの捉え方に多様性がある、
- * プロセスの考え方・組み立て方が柔軟である、
- * プロセス全過程の終始一貫した説明が可能、
- * 手法・手段と結果・効果の関係を整理できる。
- * 将来への拡張性・発展性を示すことができる。

創造活力 を生み出すものは、 ＝知識の蓄積と理解の深化である。



調子が悪くなったら練習量を増やす

創造力とは臨界に達した知力である

知識は力の源である。全ての力は知識より生まれる。

専門技術関連知識は当然として、周辺技術や人間・社会対する視点、又、理念・倫理も活力の元となる。

多様な知識は視野を広げ、考えを多面的にする。

広範な知識、深い理解、広い視野、柔軟な考えこそが創造性を高め、技術力・開発力を強化する。

蓄積され活用される知識は、新たな知識を生む。利用され実績を積む技術は、新たな技術を創出する

高度な知識は、先進的な技術を生む。進化した技術は、革新的な知識を創成する。

3. 求められる変革力

変革力は、開発力、開拓力と同義である。
変革力の基盤は、知力であり創造力である。

変革力は、新しい事象・事物を追いかけて、
移り行くことではない。”現状を深耕し、
徹底した分析を通して、現・立ち位置を
正確に理解する”ことによって生まれる。

変革=技術事象の深耕と再構成

可能性の掘り起こし

潜在力の発見

観察・考察・分析・解析

学習 / 理解 / 知識 / 情報

金属加工
- 技術事象
- 素事象

力の再構成

原理・原則
規則性・法則性

革新・進化

如何なる状況下でも、事象
は原理・原則に従って起る。

原理・原則を理解すること
無しに変革・発展は無い。

技術の変革力を掘り起す手法 1

現状技術を検討・考察の原点として肯定し、その改善の
積上げの中に新可能性を見出す。**(改善積上法)**

技術の進化は実践・適応の中にあると考え、実践を通して
新しい機能や効果を見出す。**(実践検証法)**

関連資料・データを可能な限り収集し、それらの解析・最
構成により新たな方向を見出す。**(解析探索法)**

技術事象の原理・原則・規則性を見出し・理解・応用に基
づいて進むべき道を見出す。**(原理拡張法)**

技術の変革力を掘り起す手法 2

非現実的、非常識な条件範囲まで広げて結果を検討することにより、潜在可能性を引き出す。**(極限究明法)**

技術事象の順序を任意に組み替えて、可能性と問題点を洗い出し、実現性と効果を検討する。**(手順組替法)**

素材→製品ではなく、製品→素材へ至る技術事象の再構成をして、事象構造を理解する。**(逆想構成法)**

各技術事象や手法・手段・材料・等を出来得る限り別のものに置き換え、可能性を探る。**(置換変態法)**

事例1, 事象の深耕による変革

電縫角管の高効率 Flex成形 技術
Roll Box Mill システム の開発



「実践検証法」の成果

産学連携

東京大学生産技術研究所 木内研究室
(旧・日鉄建材株式会社)
株式会社 中田製作所

深耕（実践・検証）による基盤構築

大学＋企業
徹底的
基礎研究

変形物理事象
の系統的解明

変形を支配する
原理・原則を確認

変形挙動・結果の
法則性・規則性
を抽出、検証

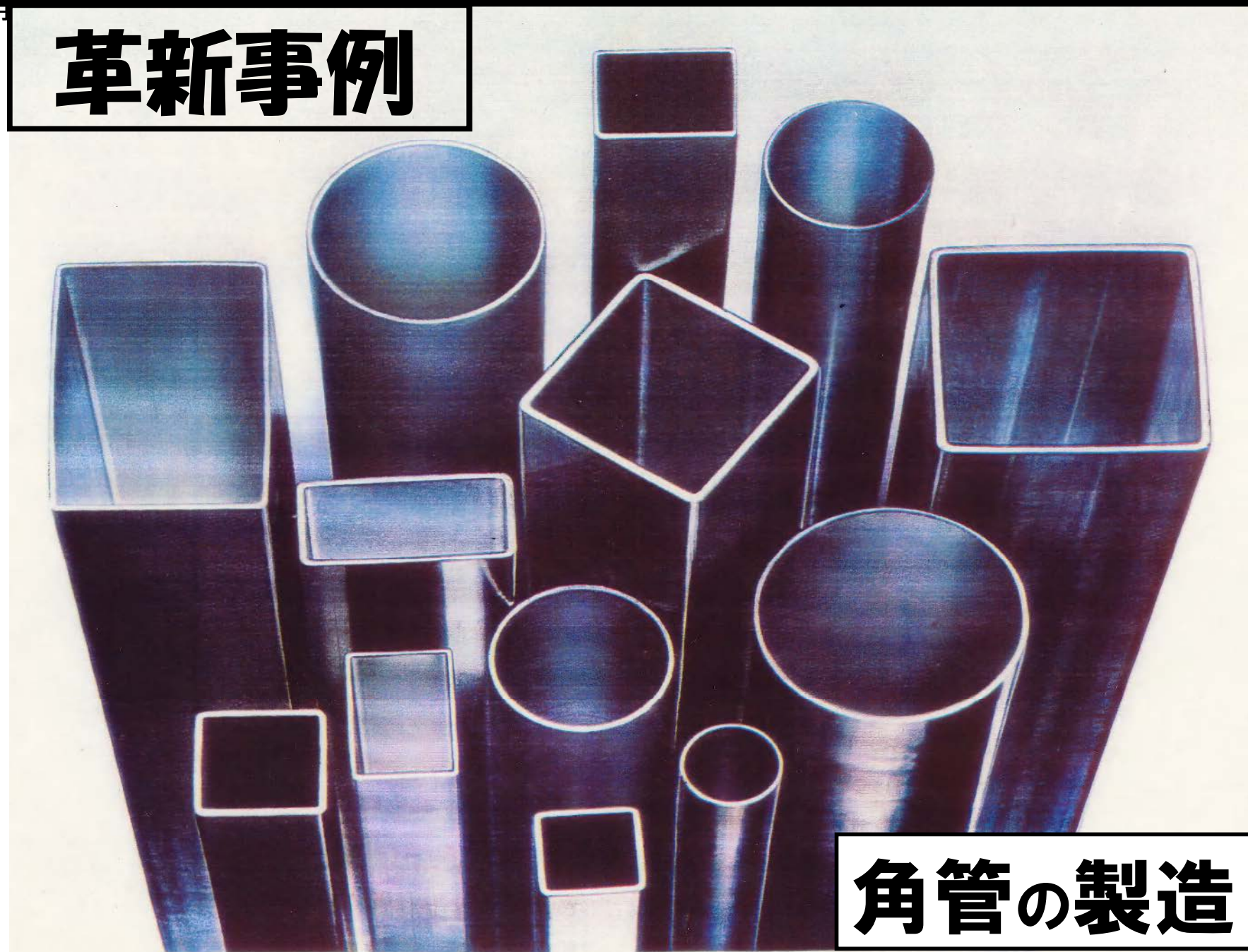
他の検討事項

製造コスト
応用発展性
数値技術性
人力低減性

現行技術の問題点
工業的要求事項
技術の将来予測

新製造プロセス
従来技術の限界を大きく
突破、今後の発展に貢献

革新事例

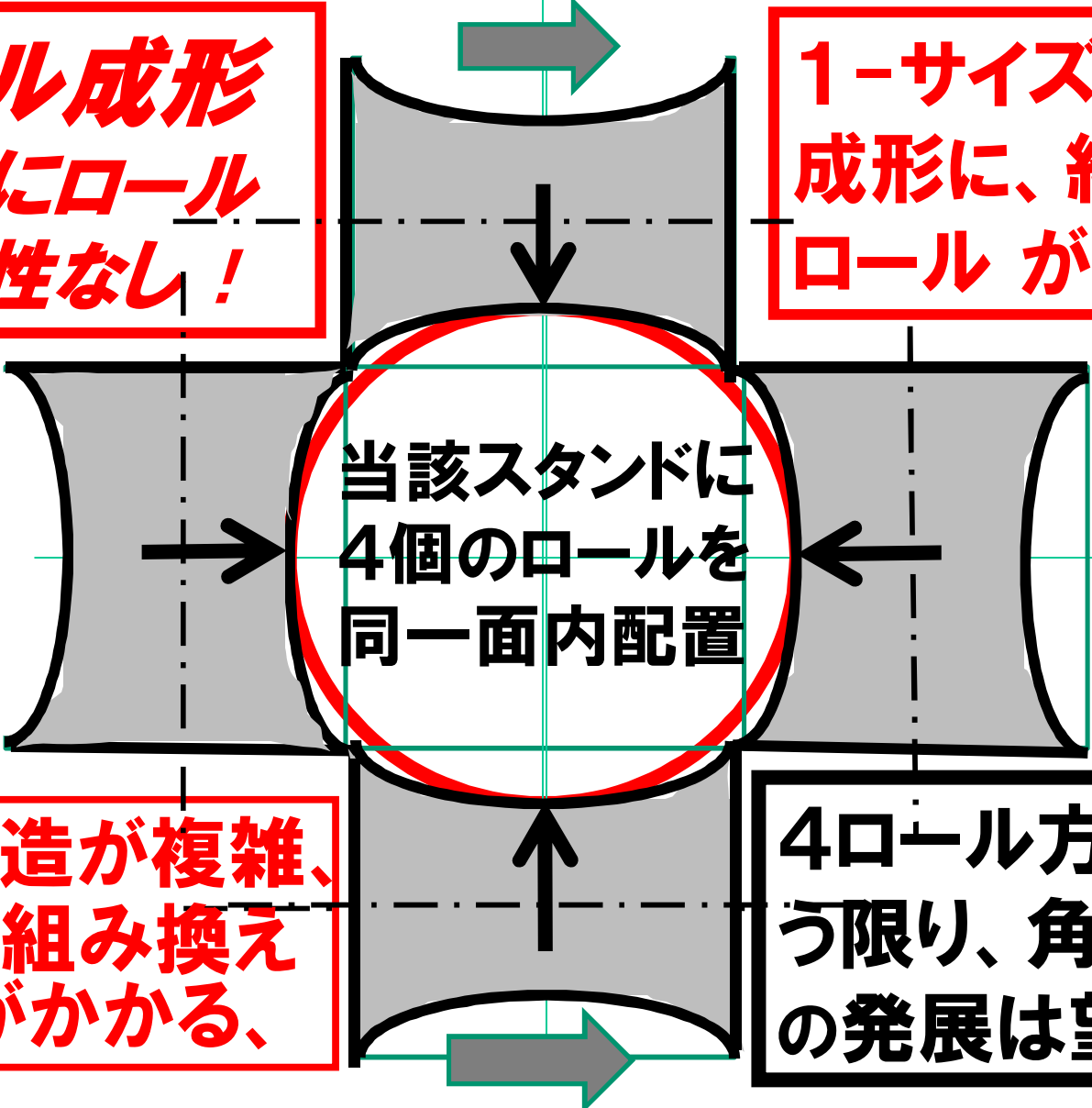


角管の製造

従前の 丸管 ➡ 角管 成形の限界

4ロール成形
本質的にロール
の兼用性なし！

1-サイズの角管
成形に、約20個
ロールが必要。

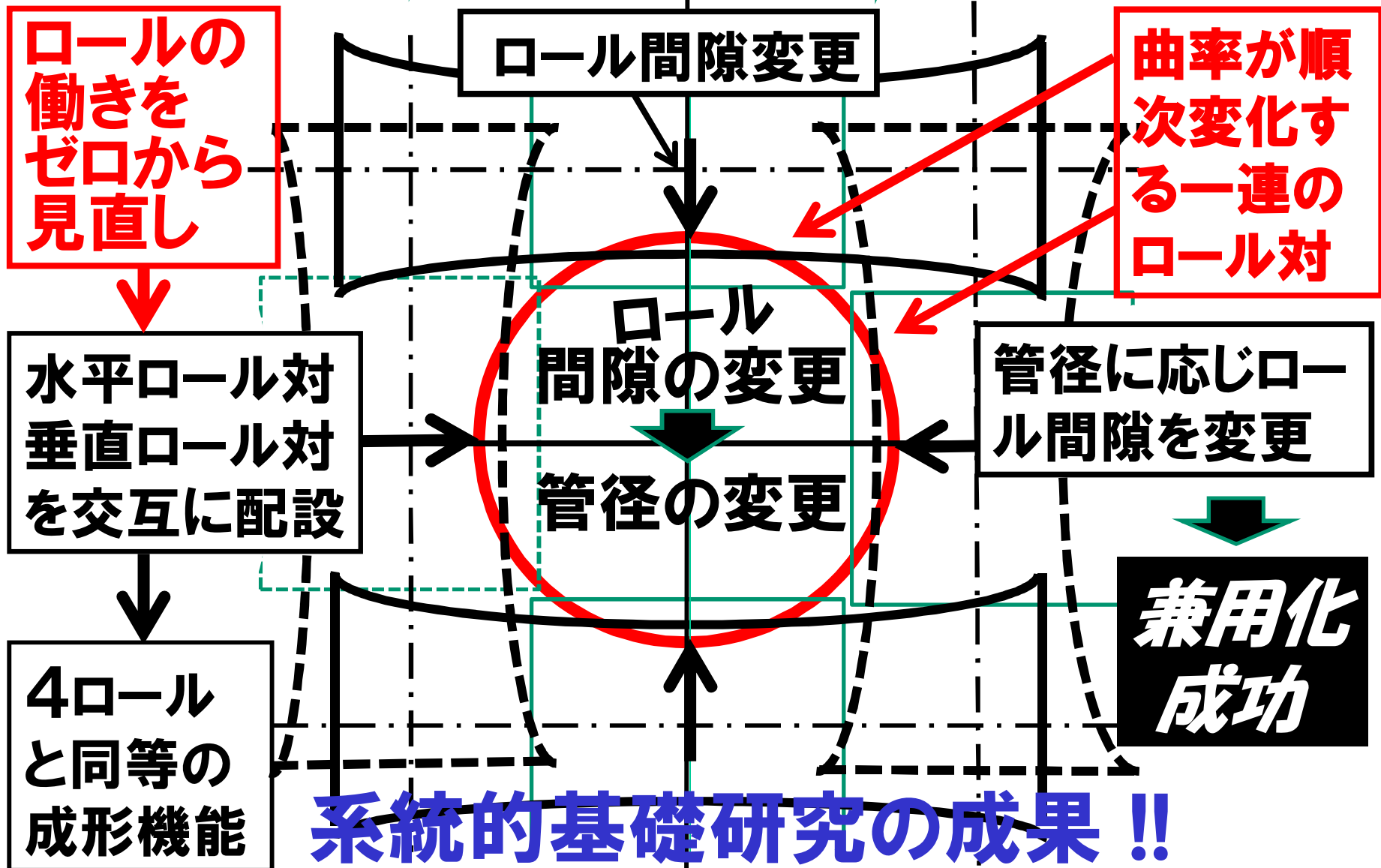


当該スタンドに
4個のロールを
同一面内配置

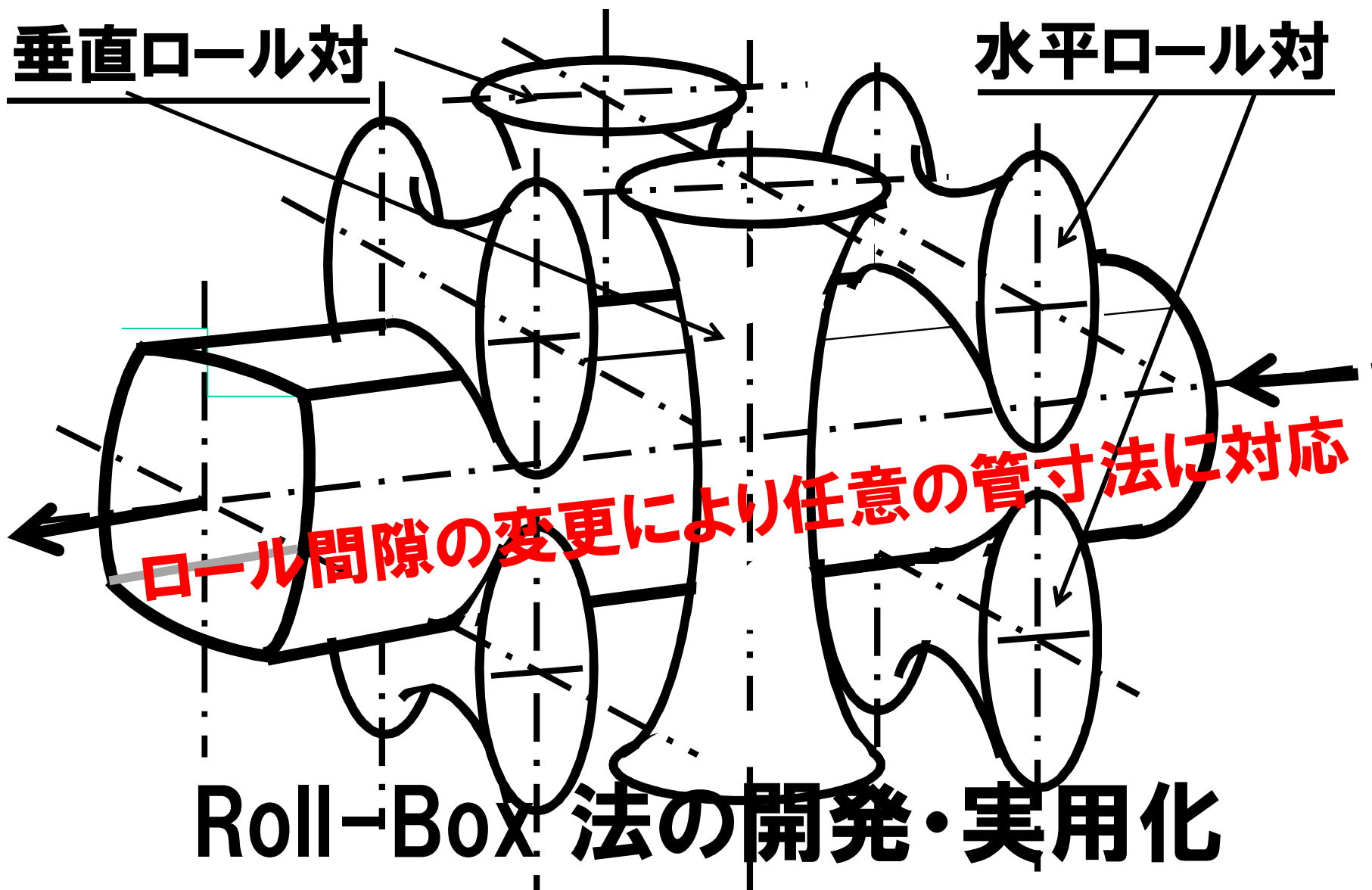
Stand構造が複雑、
ロールの組み換え
に手間がかかる、

4ロール方式を使
う限り、角管成形
の発展は望めない。

基礎研究 ➡ 原理の拡張 ➡ 2ROLL成形



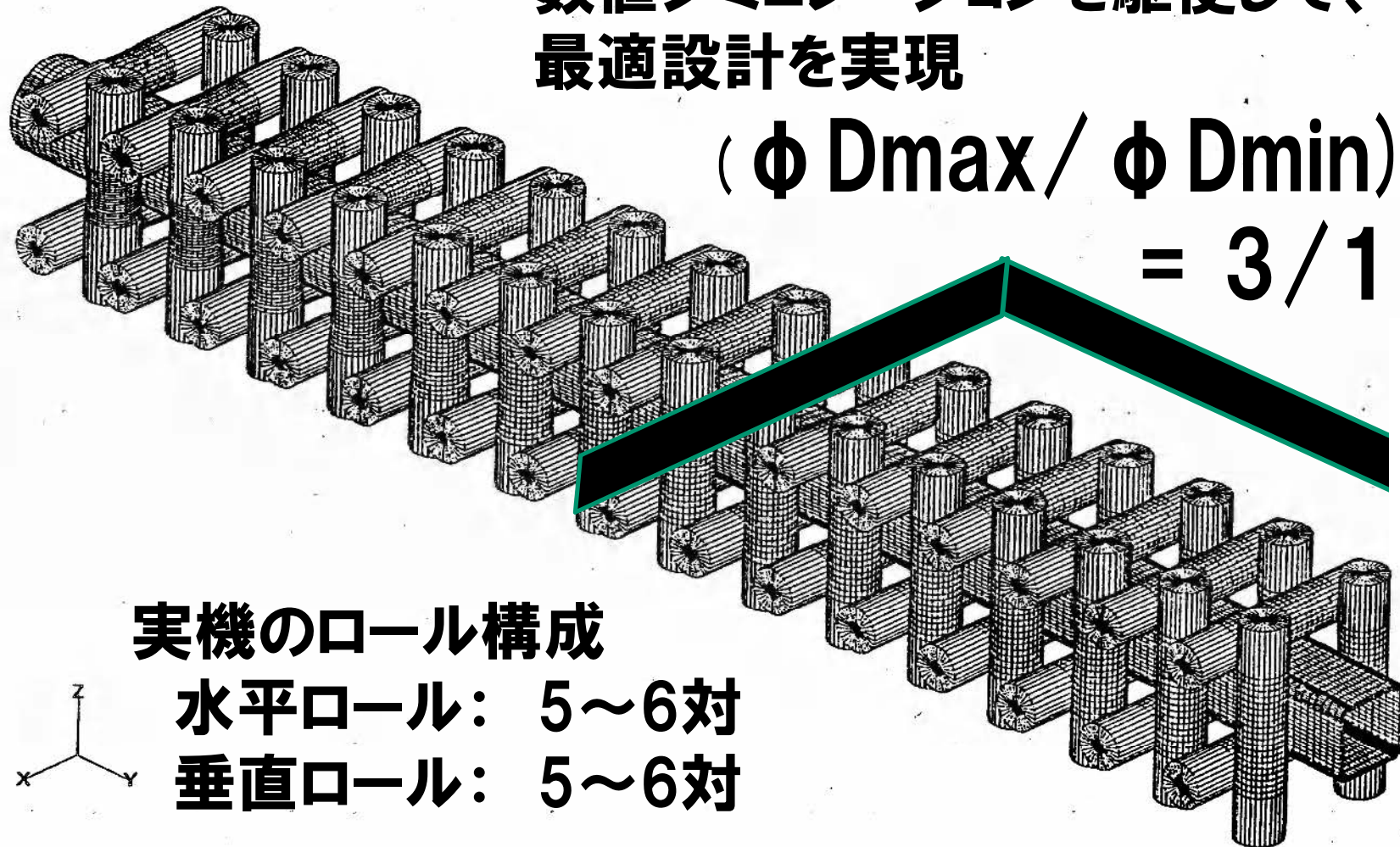
垂直・水平ロール対による角化成形



3 D Elastoplastic Analysis of ROLL BOX Process

数値シミュレーションを駆使して、
最適設計を実現

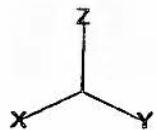
$$(\phi D_{\max} / \phi D_{\min}) = 3 / 1$$



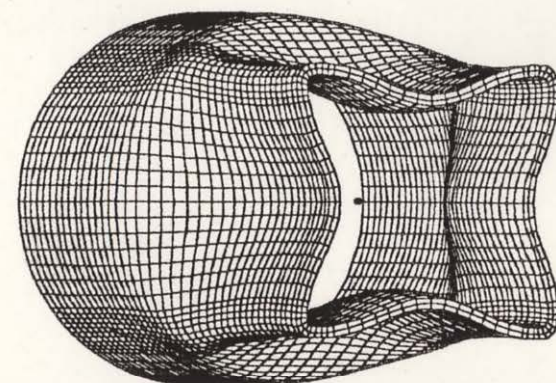
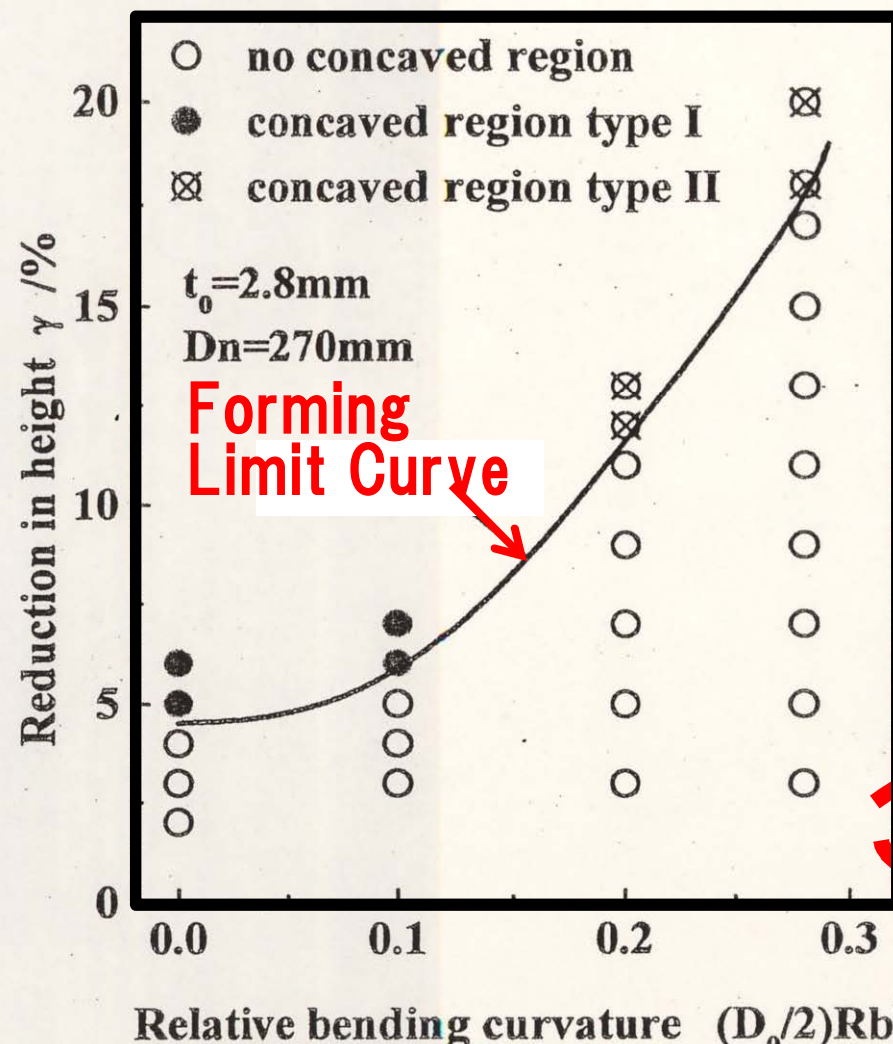
実機のロール構成

水平ロール: 5~6対

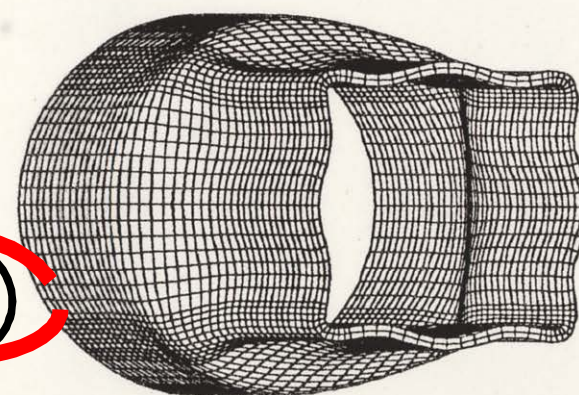
垂直ロール: 5~6対



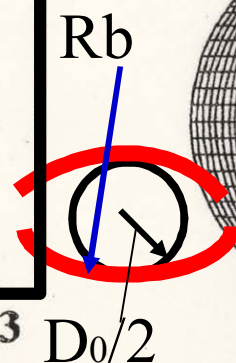
管の安定変形限界の解明



● concaved region type I



⊗ concaved region type II



Systematic experiments & FEM clarified the limit

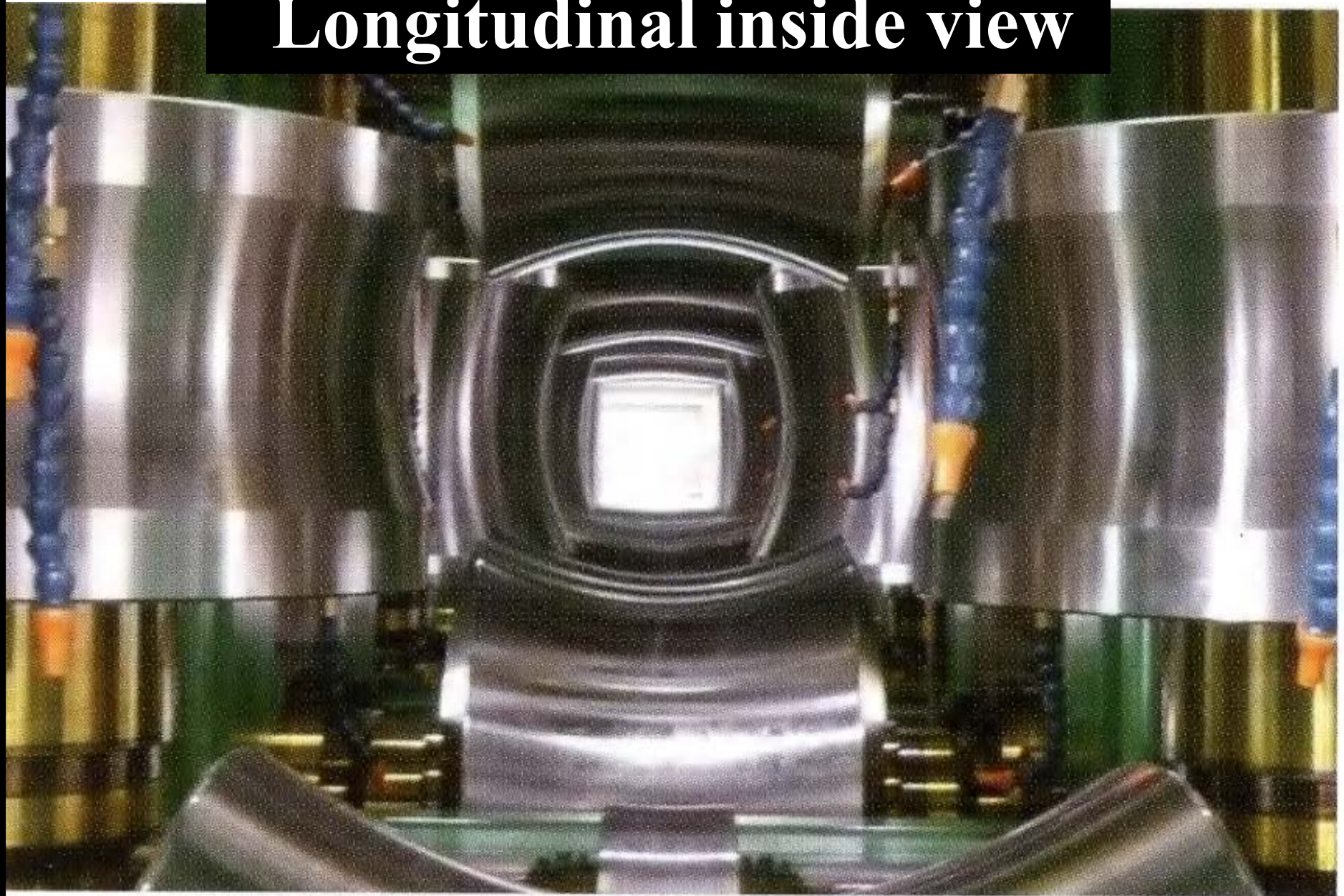
成形工程の最適化を実現

**Number of rolls is
drastically reduced !**



For commercial production, the cost of human labour, reshaping rolls and mill maintenance can be reduced.

Longitudinal inside view



2005

No.2



18" Roll Box



25" Roll Box

Roll-Box の成果

▶ 保有(必要)ロール数の大幅な削減
製品寸法 20品種の成形ラインの場合

従前 約 400 個

Roll Box 約 30 個

▶ ロール組替え作業 -- 不要

▶ 製品形状・寸法の完全Flex変更実現

▶ 成形条件設定の完全数値制御を実現

▶ 成形機の実績データの蓄積・分析実現

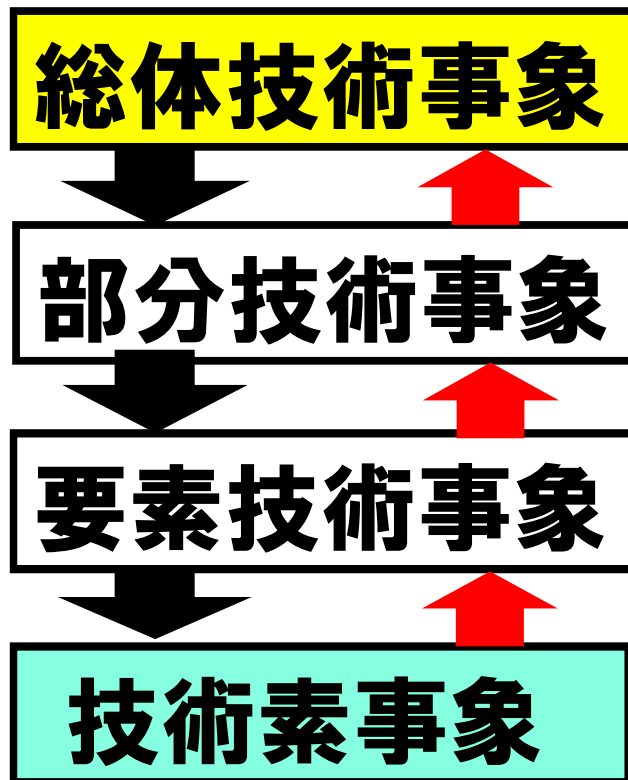
▶ 成形機の学習機能と智能化実現

▶ 無人化生産への道を開拓

世界で約10台(ライン)の中・大型 Roll-Box Mill 設置、稼働中.

事例2：視点転換による革新

「逆想構成法」による成果

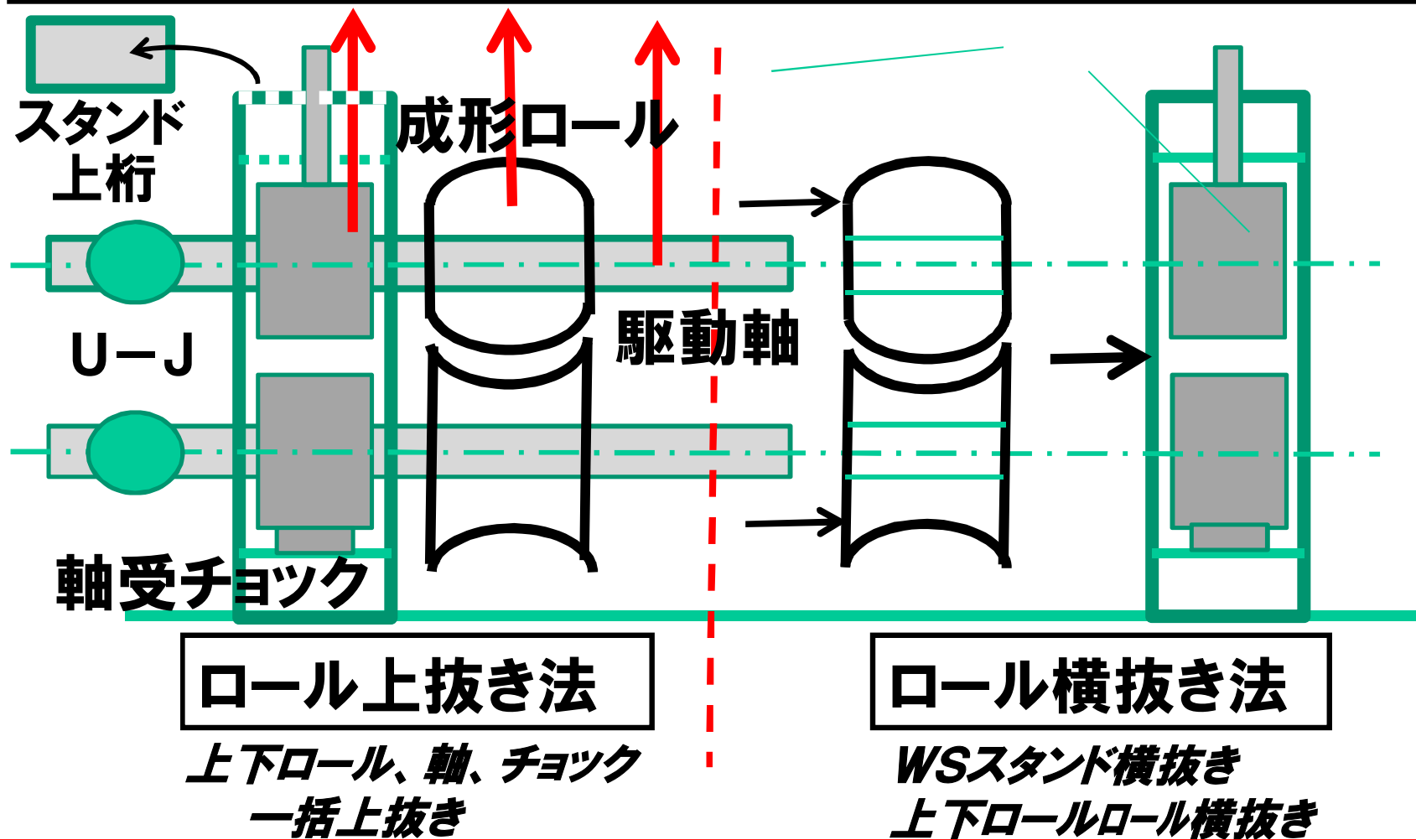


全ての技術事象は、素事象から構成される。構成の各段階で、多様な素事象が発現するので、必要な素事象の的確な選択が必要になる。

当然、素事象の選択を変えると、総体技術事象の構造・特性が変化する。多くの場合、その変化の中に直面する問題・課題に対するソリューションが隠れている。また、新たな可能性へ通じる道がある。

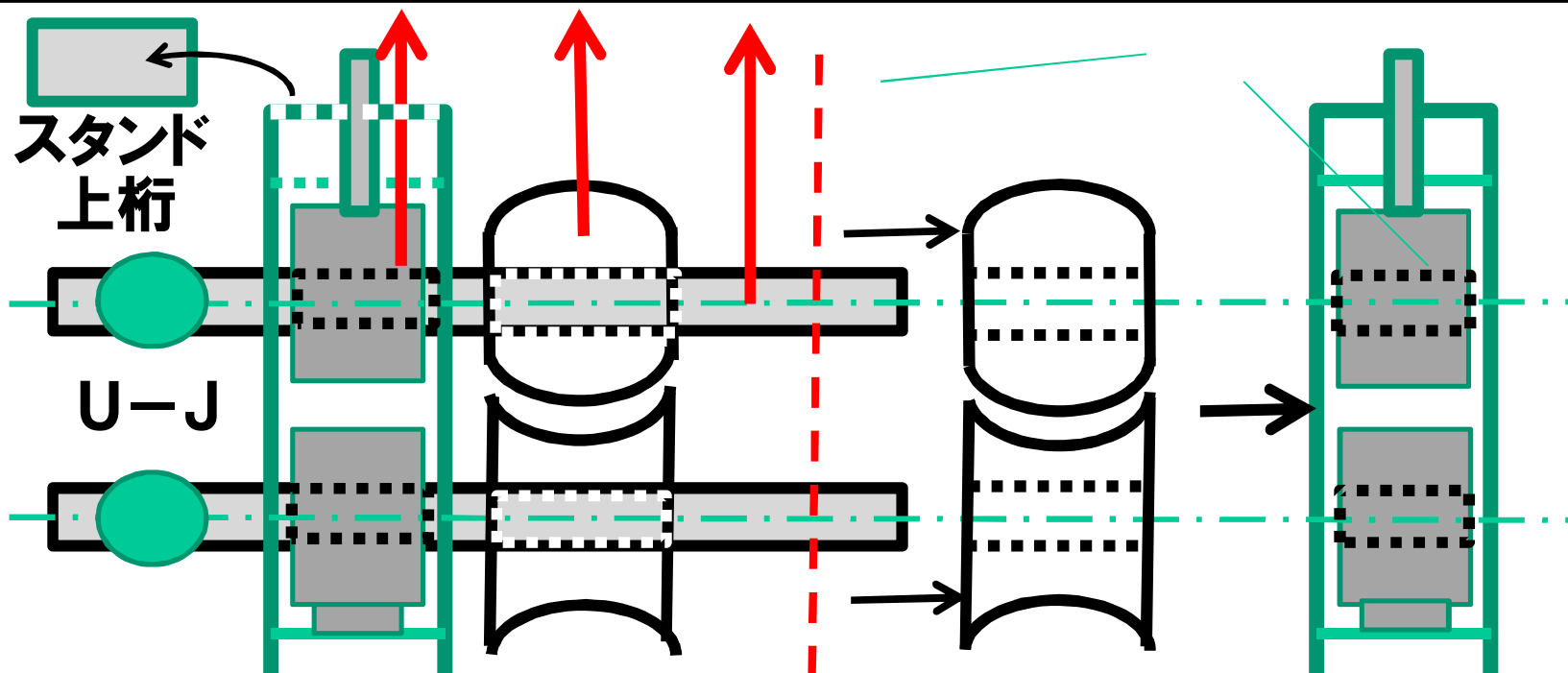
変革の視点＝素事象の選択と組合わせの変更

現行のロール交換の素過程



- (1) オンライン・オフライン交換、(2)各スタンダー一括交換、
(3)複数スタンダー一括交換、(4)全スタンドベッダー一括交換

逆想視点から見える問題の核心



新形式ロール支持・駆動

Roll installing/removing ↑ Stand opening/closing

Driving

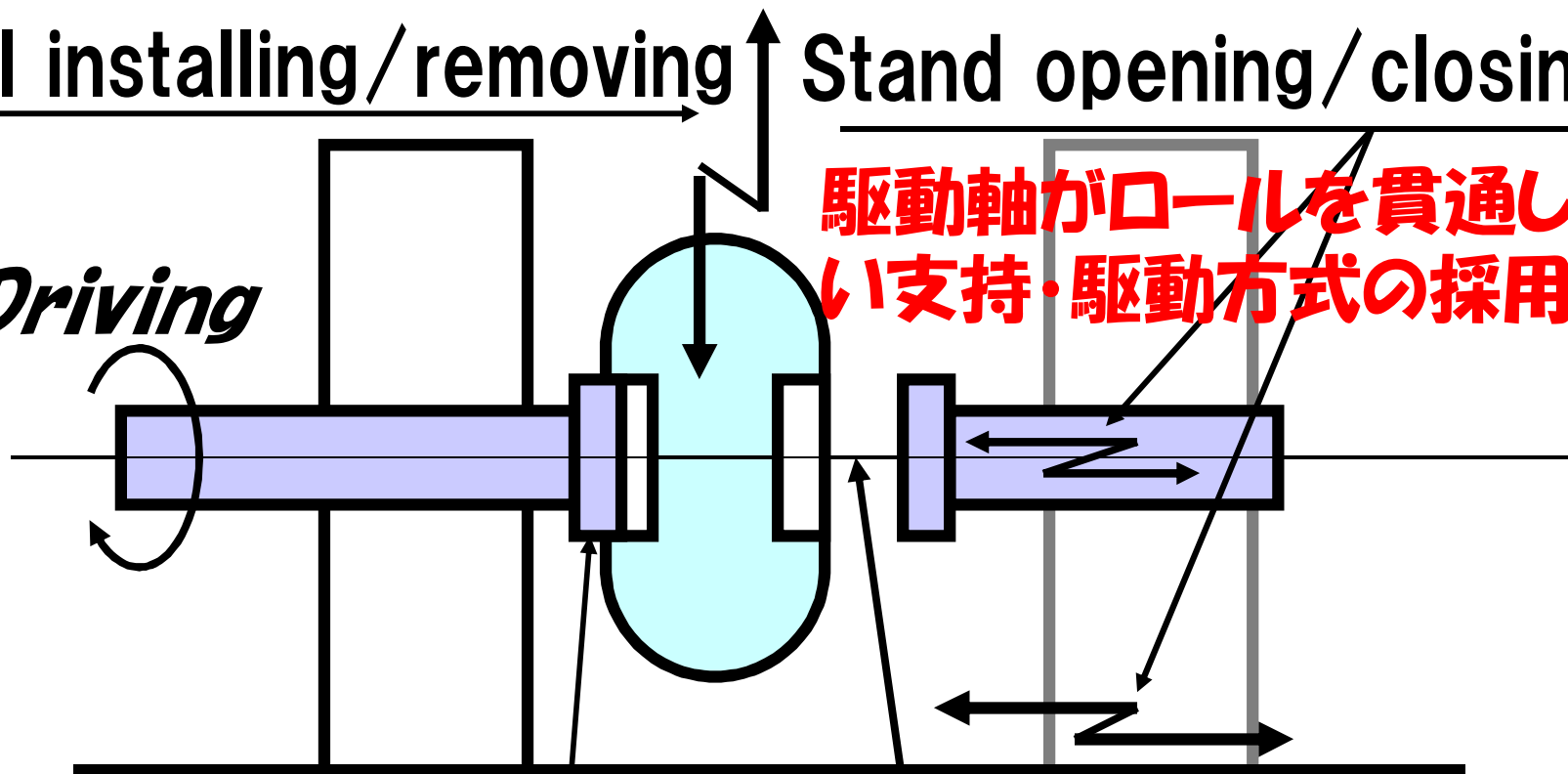
駆動軸がロールを貫通しない支持・駆動方式の採用

Shaftless driving system innovates roll change process.

Side Coupling System

Side Coupling System

Patent was applied



ここまでの要約

知識・情報・データの収集
学習と理解の深化

原理・原則に基づく発想・思考
脱常識・逆行的思考実験
工学基本力に基く事象組立
計画的・系統的な調査・試験
理論・計算法を活用した検証
実践的設計・製作への挑戦

知力

創造力
変革力
開発力
開拓力
突破力

4. 思考論・思考法の活用

**知の再構成 と更なる 創成
を支える
思考論・思考法**

何故、思考論・思考法か？

学習を重ね、理解を深めることにより。
知識を増やすことは可能、・・・しかし、



知識を増やすこと、
知識を活用すること、 } **は異質な面を持つ。**

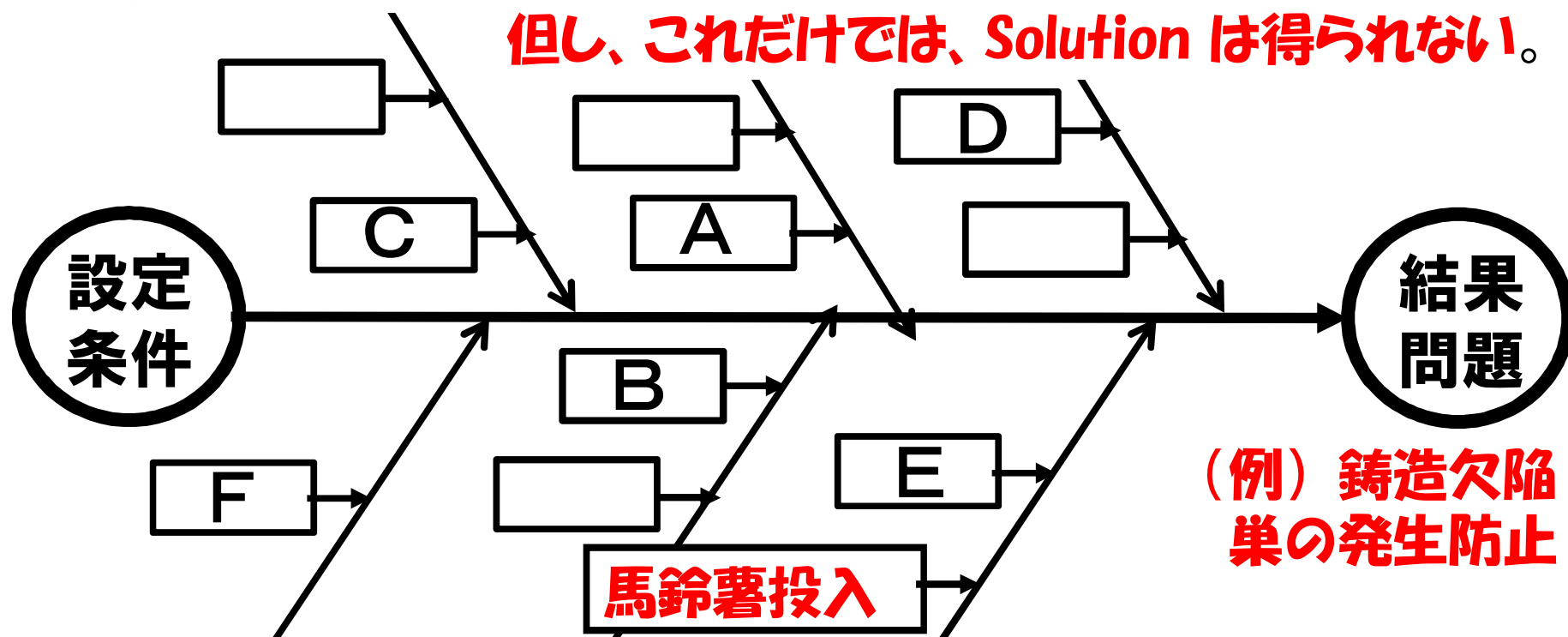
知識をうまく使う（賢く使う）ために、
何故なら ”思考論（思考法）” は有用である。

我々の思考には、常に、欠落がある。

Fish-Bone 型要因分析図の効用

関係因子を書き出して思考の欠落を防止する。

但し、これだけでは、Solution は得られない。



F-B 要因分析図の場合、関係因子の羅列に終わる場合が多く、問題事象にかかわる因子・事象間の関係性を求める視点が弱かった。結果、原因解明・対策案出の有力手段になり得なかった。

因子・事象間の関係性の追求がSolutionを生む。

“発明・発見へ必ず到達できる有効法 はある？”… ソ連の唯物論的学説

TRIZ の提案

思考・推論の
規則性・法則性

創造活動の効率化
誤謬の排除

類似性の活用を体系化

新しいものを作り出すときに行う人間の頭脳活動には法則性がある。

TRIZ 「トゥリーズ」
Theory of Inventive
Problem Solving
(ゲンリツク・アルトシューラー)

- ・ 1946 年ロシアで開始
- ・ 40 万件の特許を調査
- ・ 思考過程の規則性を分析
- ・ その後、ロシアは国家 P/J として全世界の特許を調査

(アメリカ)
Invention Machine Corp..
Ideation-International Inc.
MIT: System Design
Management P/J
(スウェーデン)
王立工科大学 (KTH)
(日本)
三菱総研 (IM 社総代理店)

TRIZの適用－過去の事例から解決法を探し出す 「システム対立と解決策の検索」

TOSC (Typical Techniques for Overcoming System Conflicts)

[対立マトリクス]

改善したい属性 悪化する属性	可動部の質量	操作性	安全性	生産性
可動部の質量	○	○	○	○
軽量化	○	○	●	○
安全性	○	○	○	○
生産性	○	○	○	○

○：対立克服の典型的手法のいくつかが示され

事例に学べ！

40 万件の特許を分析した結果、典型的なシステム対立は **1250 通り** しかないことが判明した。

対立マトリクスを用いた技法は問題を直接解くのではなく、解を探索するのに最も有望な方向を提案する。

利用方法

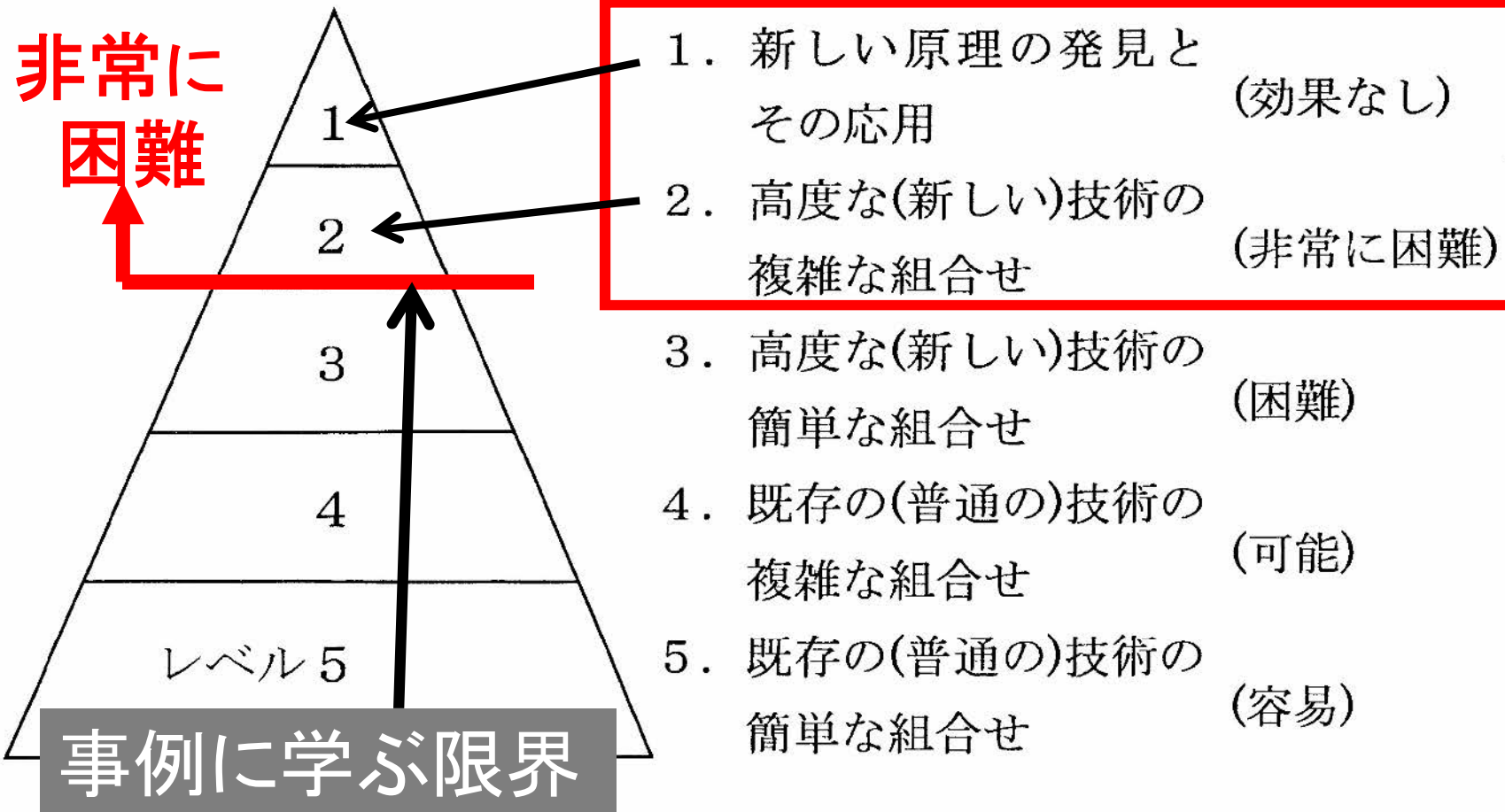
- (1) 改善する必要がある属性を対立マトリクスから選ぶ。
- (2) 以下の質問に答える。
(2-1) どうしたら既存の手法で狙いとする属性を改善できるか？
(2-2) その既存手段を使うと、どの属性が悪化するか？
- (3) 悪化が予想される属性を対立マトリクスから選ぶ。
- (4) 対立マトリクスを用いて、このシステム対立を克服する典型的手法を特定する。

創造的活動に対するTRIZの効用？

発明・特許の階層性と思考支援ツールの効果？

事例探索は進化を誘発せず！

支援ツール(例 TRIZ)



知識工学とは何であったのか？

1990年代、知識工学が喧伝され、多くの研究者が成果とするものを発表したが、所詮、知識の整理箱とその並べ方に関する論に過ぎなかった。(Empty Box Theory/System)

何故ならば、知識工学は、新たに知識を生み出す手法や手順を示した訳ではなく、既に知識があるとするならば、それらを利用して何が出来るかを示した論であって、逆説的に云えば、知識が無ければ、何も出来ないことを確認した研究であったとも云える。

**知の創成・蓄積
の為の論ではない。**

**知の発見・創成・収集・
再構成・拡張ではない。**

知の利用論？

知識工学
EXPERT Sys.
Neural Network

**“知識の活用”と“知識の創成”は、
本来、不分離であるべき !!。**

TRIZ, etc.

既存知識・情報の収集
既知成果の整理・利用
知識の収集・利用、創成？



**知識工学
Expert System
Neural Net-Work**

知識の利用のみ、創成なし



- ▶ **各知識・情報の意味と関係性の理解が固定,**
- ▶ **新たな知識・関係性の創成・発見能力が低下**

**現状のNetに依存する知の利用は、知的活動の
アウトソーシングであり、知力の空洞化を招く !!**

知の活用と創成の循環

知の創成・増殖

知識基盤

記憶・記録知
理解・認識知
関係性解明知
影響予測知
効果期待知

収集

活用

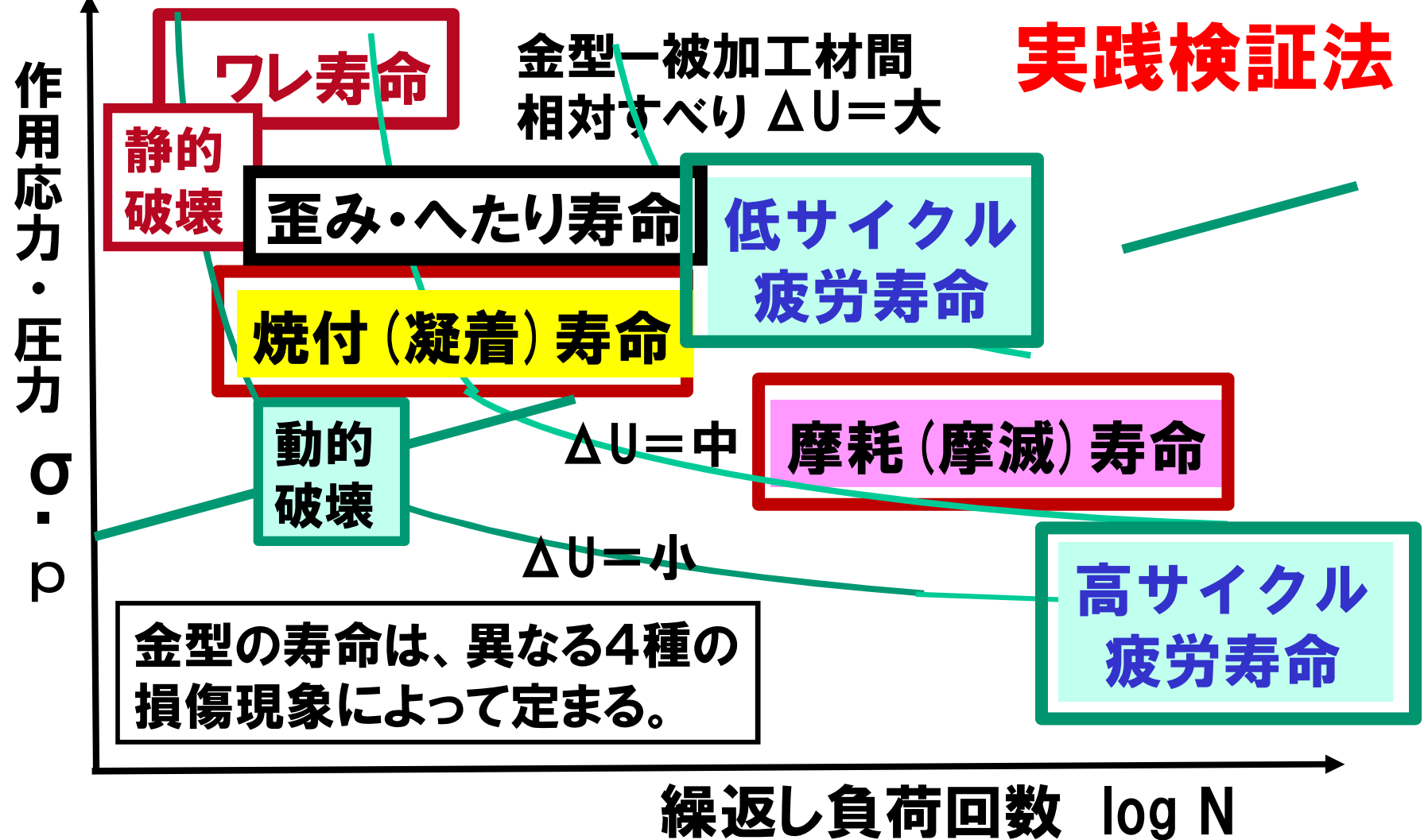
知識の活用

事象・事実の利用
効果・影響の活用
関係の予測・利用
組合せ・結合
重ね合わせ・融合

熟成

知の循環・再生

金型寿命問題に見る思考の位相



寿命を支配する事象により、異なる思考法が必要

冷鍛金型の破損原因の思考法

期待寿命20万ショットの金型が破損場した場合、原因究明と対応策の検討に際して、まず考えるべきことは？

設定ミス、操作ミス

設計ミス、製作ミス

荷重評価・予測ミス

不純／析出物、粗粒

材料疲労強度不足

} 数～数10 ショットで破損

数100 ショットで破損

数1000 ショットで破損

数10000 ショットで破損

およそあらゆる問題事象について、発現原因の究明と対策検討は、同一の位相で為されなければならない。

技術の変革力の掘り起こしに 有効な思考法

M-K法

現状に捉われない原理・原則に忠実な思考

現象を分割し、素過程にまで至る思考

整理された因果関係の積上げに基く論理的思考

条件因子と結果との関係が数量化された思考

脱常識的・逆行的・仮想的視点に立つ思考

現実可能ながら極端・異常な条件を想定した思考

etc.

限界突破型思考法16の法則

「三現三察」の法則
「仮説必須」の法則
「分解到理」の法則
「置換転生」の法則
「格数到知」の法則
「越桁飛躍」の法則
「手順前後」の法則
「限界宝庫」の法則

「単純有意」の法則
「積知改質」の法則
「専家究道」の法則
「実践優位」の法則
「先手無限」の法則
「変心非恥」の法則
「他山棄石」の法則
「糺鼎輕重」の法則

問題・課題に直面して、解決への道を見出すためには、多面的な視野が必要であり、その際、思考法・切り口を知ることは有用である。

5. 限界への挑戦 !!

**現行の「ものづくり力」は、日本の
更なる発展の原動力たり得るか？**

知識力・情報力は十分か？

全体設計力・未来構想力は？

変革力・突破力はあるか？

金属加工：問題・課題の構造

金属加工に関わる各種の問題・課題は、下表の
(1)～(3)に示す3種類の枠組・内容に集約できる。

1. プロセスの構成 どうするのか？	各技術事象の組合せ 事象機能の結合・統合
2. 関係（特性）を 解明せよ！	条件と結果の因果関係 関係因子間の相関関係
3. 最適値は何か？	最適条件の探索 最適結果の獲得

各枠組・局面において、挑戦無くして革新なし!!

問題・課題への挑戦手法

各問題・課題に挑戦する手法・手段、

1.プロセス構成	構想・計画、3D-CAD、 画像処理、数値シミュレーション、 数理モデル、分析・評価・拡張、
2.関係の解明	数理モデル、解析・分析、演繹 統計解析、分散分析、誤差解析 GMDH法、予測、推定、
3.最適値の発見	各条件因子最適化の追求、 最適条件実現、最適結果の獲得 FPS法、

各枠組・局面において、数学・統計学等を活用

IoT, ICT, AI, による “新産業革命時代” - 挑戦を支える 知力 の要件

- ▶ 対象事象が発現する原理・原則を理解しており、
そその法則性・規則性について知識・情報がある。
- ▶ 当該事象に関連する諸事物・諸事象の特性と
そそれらの関係について、必要な知識がある。
- ▶ 当該事象を制御すること、および、結果を予測
すすることが出来る、又は、その方法を知っている。
- ▶ 当該事象を活用して所要の効果を獲得できる、
る又は、活用する方法を理解している。

突破力 を生み出すものは、 知識の蓄積・理解の深化・挑戦の意欲

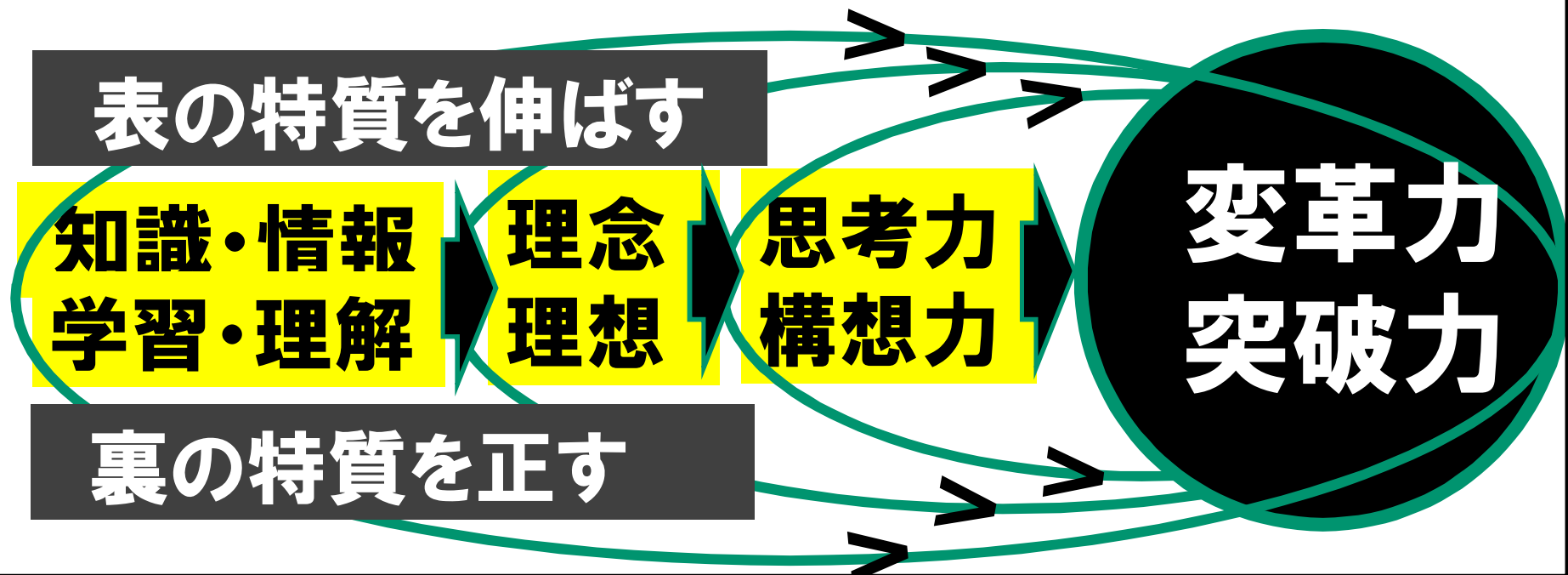


グローバルな“人間・技術・社会の調和時代” - 突破力を持つ技術とは、

- **世界が認める成果があり、支える人材がいる。**
- **世界が求める価値（製品）をつくり出す力がある。**
- **世界を活用・応用の場とし、世界と協働できる。**
- **世界を先導し、産業文化の発展に寄与できる。**
- **人間・社会の進化を信じ、支える決意がある。**
- **人間・社会の未来を語ることができる。**

突破力の強化に近道は無い

- ▶ 広く知識・情報を収集し、蓄積する、
- ▶ 原理・原則を学習し、理解を深める、
- ▶ 理念を高め、構想力を強化する。



“裏の特性”を正そう!!

協調
共有

非主体的／類似的・追従的

創意
工夫

非客観的／主観的・独善的

あうん
合わせ

非数量的／定性的・概論的

技能
品質

非論理的／観念的・情緒的

伝承
体験

非記録的／属人的・伝聞的

表が未熟・未充足の部分に、裏が生まれる！

自らの学習・理解に依らない

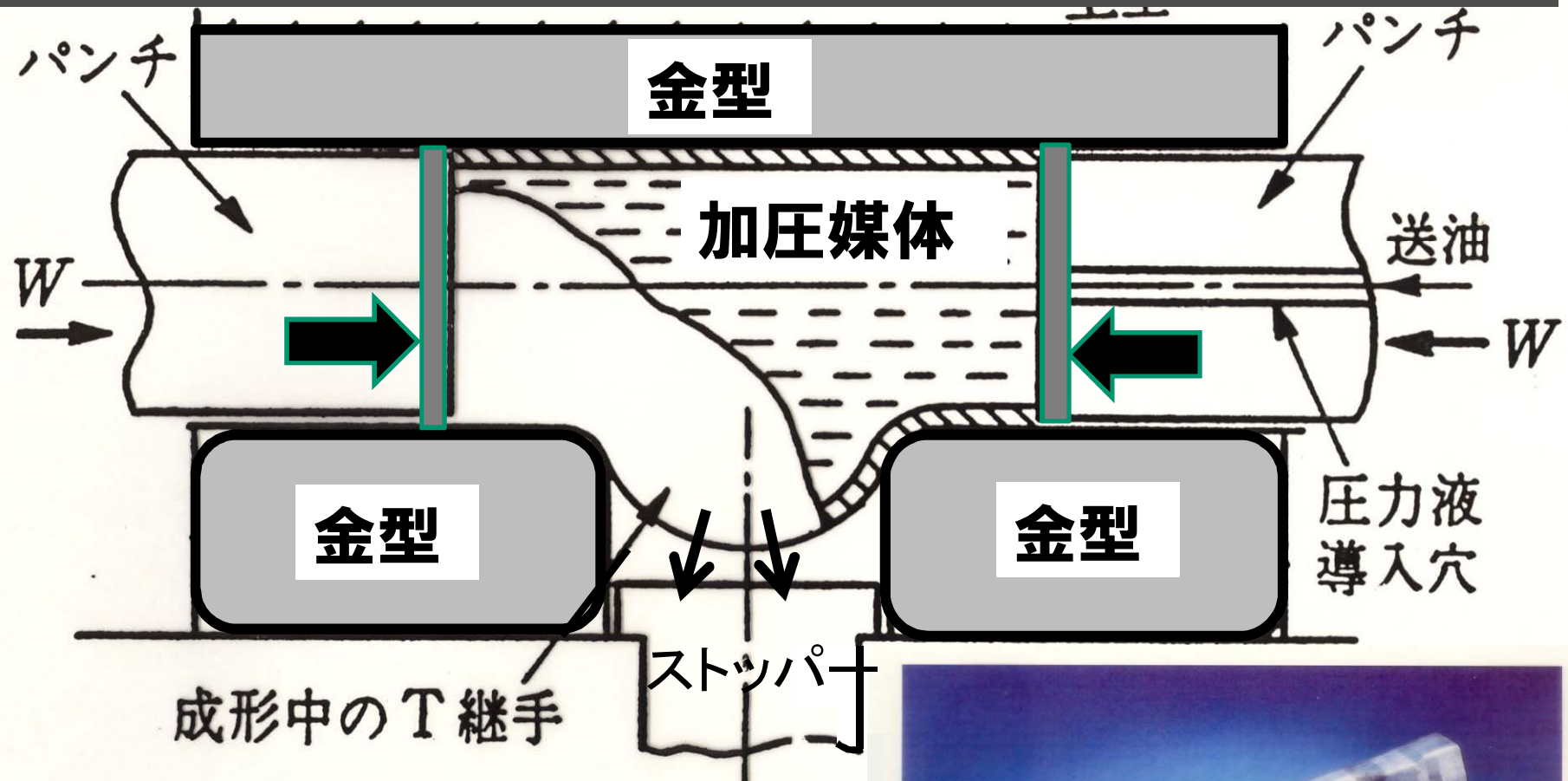
追従型取組みの限界

Hydro-Forming の場合

日本で発想され、基礎開発が行われ、結果、実用化が十分予想される段階にまで至った新技術・新プロセスが、海外に移り、海外で開発・実用化されたと宣伝され、高額な対価を支払って慌てて導入したものの、結局、思う程の成果が得られずにいる、

何故か？

ハイドロフォーミングの基本構成



水・油等を用いて、管に内圧を加え、膨らませ、金型内面になじむ変形を加えて、目的形状を持つ製品を得る。



Section of a dashboard cross member

ハイドロフォーミングの教訓

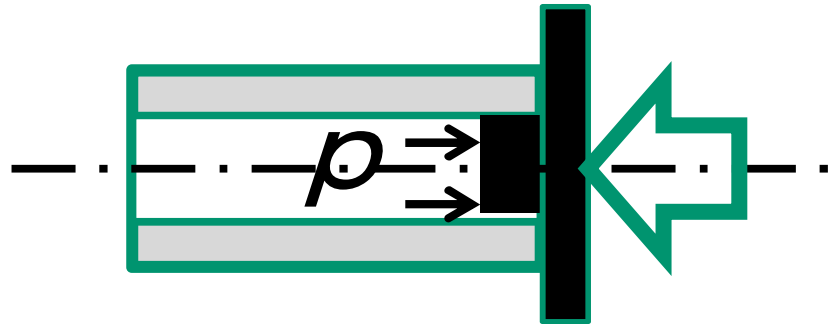
この技術は、1990年代、自動車の軽量化技術として注目されて世界中に広まったが、実は、1980年以前から、日本で開発応用が行われた技術である。当時「バルジフォーミング」と呼ばれ、多くの機械部品の製造に利用された実績がある。

1990年代、あたかも最新技術の如く宣伝されて欧米から売り込まれ、あわてて飛びついて失敗した企業が多く見られた。

自主思考無く、先行成果を活かせず

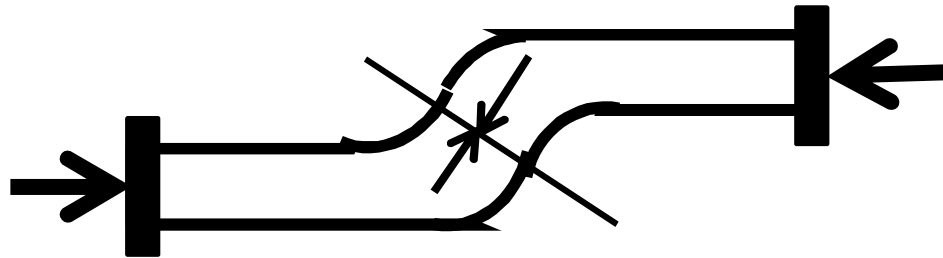
ハイドロフォーミングの核心技術は？

1. 被加工管内の高圧媒体のシールド技術



管端のダメージを避けつつ高圧を封入するに有効な方法は？

2. 有効な軸力付加技術



曲り管に対して有効な軸力を付加する方法、又は、金型・工具は？

3. 金型および適正内圧・軸力付加プロセスの設計技術（シミュレーション技術）

結果

宣伝や見かけの結果に目を奪われて基本が忘れられ、技術の本質や特性が理解されないままに、高額の設定の導入などがなされた。

結局、基礎知識や理解の欠如の故に、技術的發展や応用展開が見られなかった。

現在、一部の自動車部品の製造に利用されているが、当初喧伝された予想には遠く及ばない状態に留まっている。

**変化へ対応するのではなく、
変化を創り出すことを目指せ！**

To survive and succeed, every organization will have to turn itself into a change agent. The most effective way to manage change successfully is to create it.

by Prof. Peter F. Drucker

挑戦

**革新への挑戦＝限界突破
＝自主知力を持ち、
自ら考える力を持つ、**

（限界への挑戦事例-1）

押出し・引抜き解析技術の革新

それ以前の押出し・引抜きの解析は、丸材から丸材への軸対称加工(ごく一部の丸材から矩形材への加工)についてのみ可能であった。

筆者らの研究により、丸材から異形材へ、異形材から異形材への如く、およそ全ての押出し・引き抜きプロセスの解析が可能になった。

これにより、押出し・引抜きの理論的研究は一気に進み、大きな技術的革新が達成された。

上界接近法 (Energy法) の論理

動的・可容速度場を想定(体積一定・境界条件)

歪速度・歪・加工硬化 を算出

速度場を修正

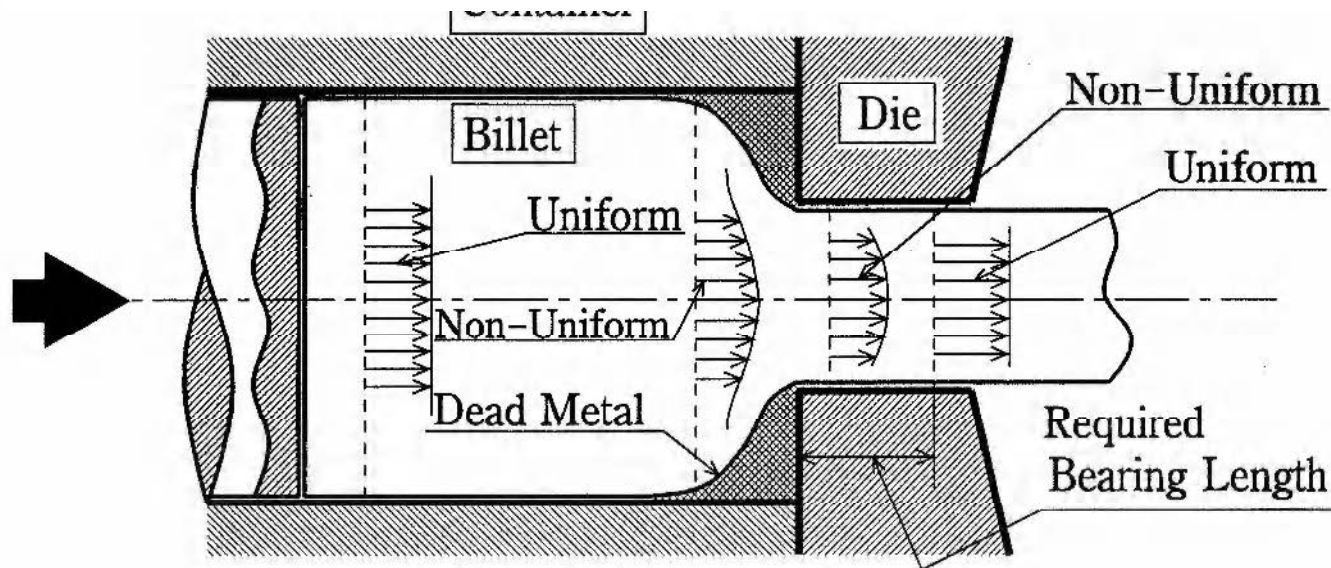
仕事率 を算出

仕事率最小

NO

YES

変位増分
変位
歪・応力
等を算出



原理拡張 / エネ法適用の革新

動的可容速度場
変形速度分布の
数式表示

{ 体積不変
境界条件 }

歪速度・
歪の分布
算出

変形エネ
消費率計算

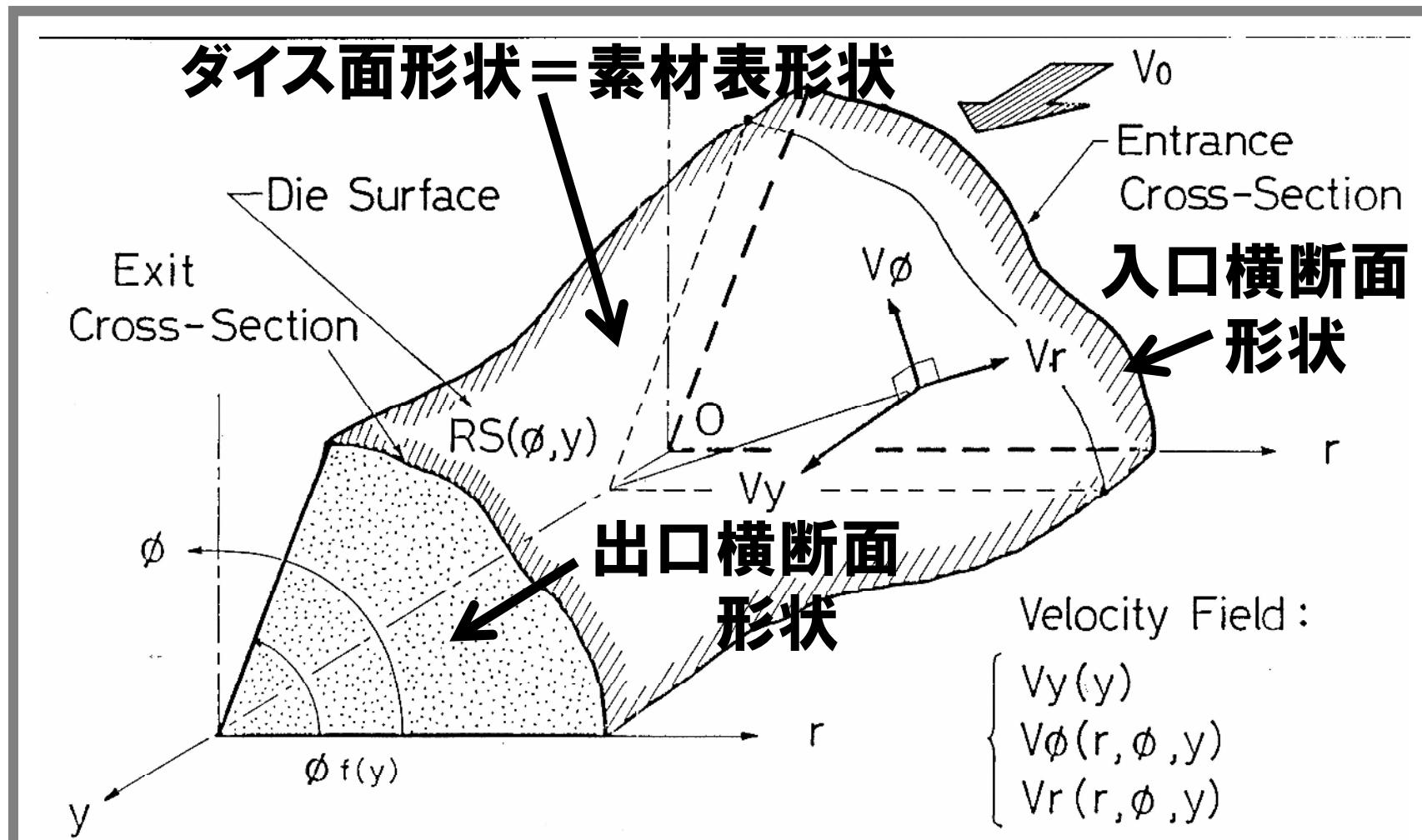
最小化

速度分布
修正

素材各部位で速度
成分が満足すべき
体積不変式

実際の解析では。差分形の式表示及び微分・積分計算を行い、速度分布の統一的数式表示は不要と判明。これにより解析手法の適用可能範囲は一気に拡大 !!

3D押出し汎用解析モデルの構築



汎用性の高い速度場モデル構成法を樹立

ダイス内の動的可容速度場一般式

$$v_y(y) = \frac{v_0 \int_0^{\varphi_f(0)} r_s^2(\varphi, 0) d\varphi}{\int_0^{\varphi_f(y)} r_s^2(\varphi, y) d\varphi}$$

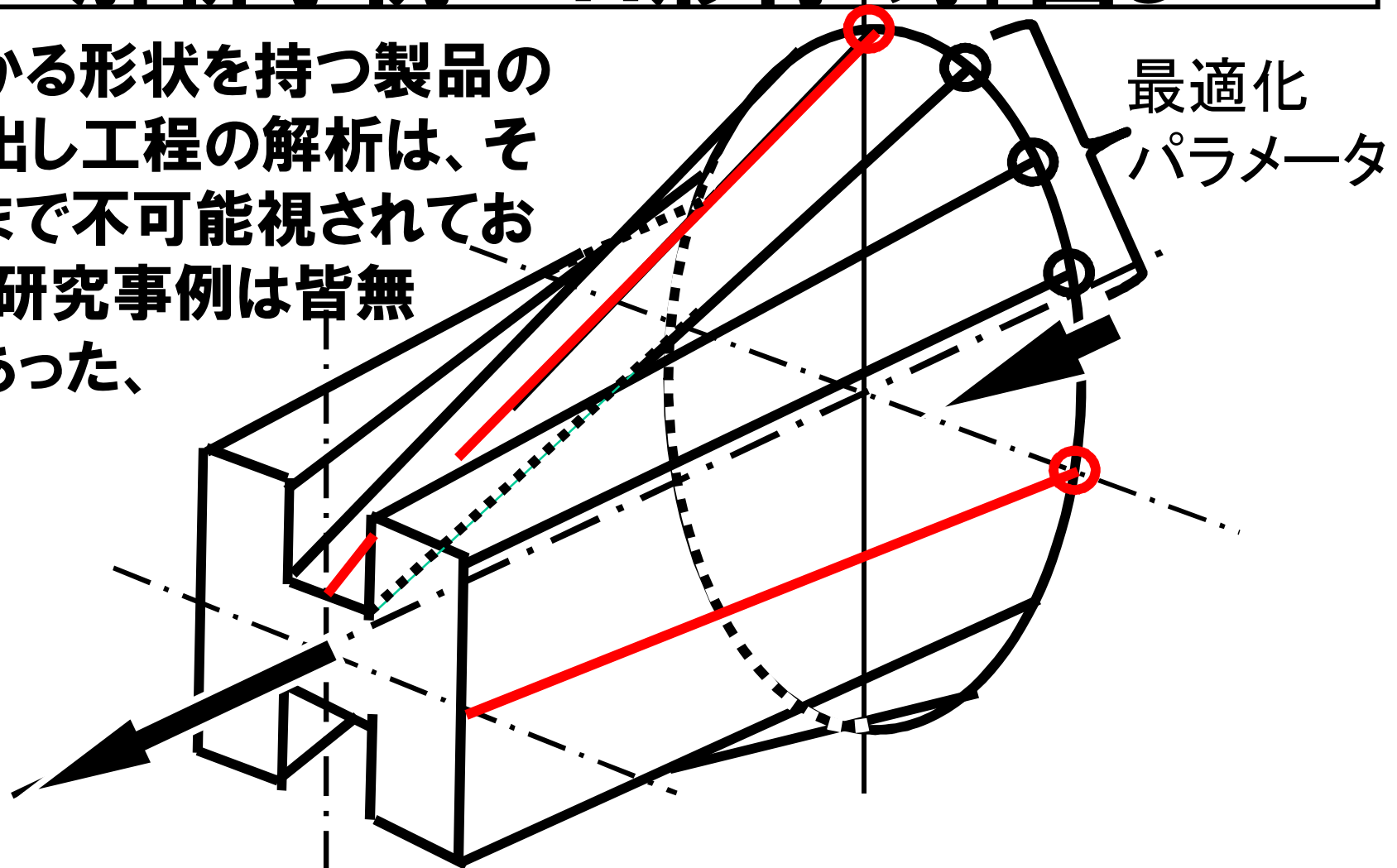
入口・出口の横断面形状とダイス面形状より、速度場が満足すべき関係の数式化ができる。

$$v_\varphi(r, \varphi, y) = \frac{-r}{r_s^2(\varphi, y)} \int_0^\varphi \frac{\partial}{\partial y} \{v_y(y) r_s^2(\varphi, y)\} d\varphi$$

$$v_r(r, \varphi, y) = -\frac{r}{2} \left\{ \frac{\partial v_y(y)}{\partial y} + \frac{\partial \omega(\varphi, y)}{\partial \varphi} \right\}$$

解析事例：H形材の押出し

かかる形状を持つ製品の
押出し工程の解析は、そ
れまで不可能視されてお
り、研究事例は皆無
であった、



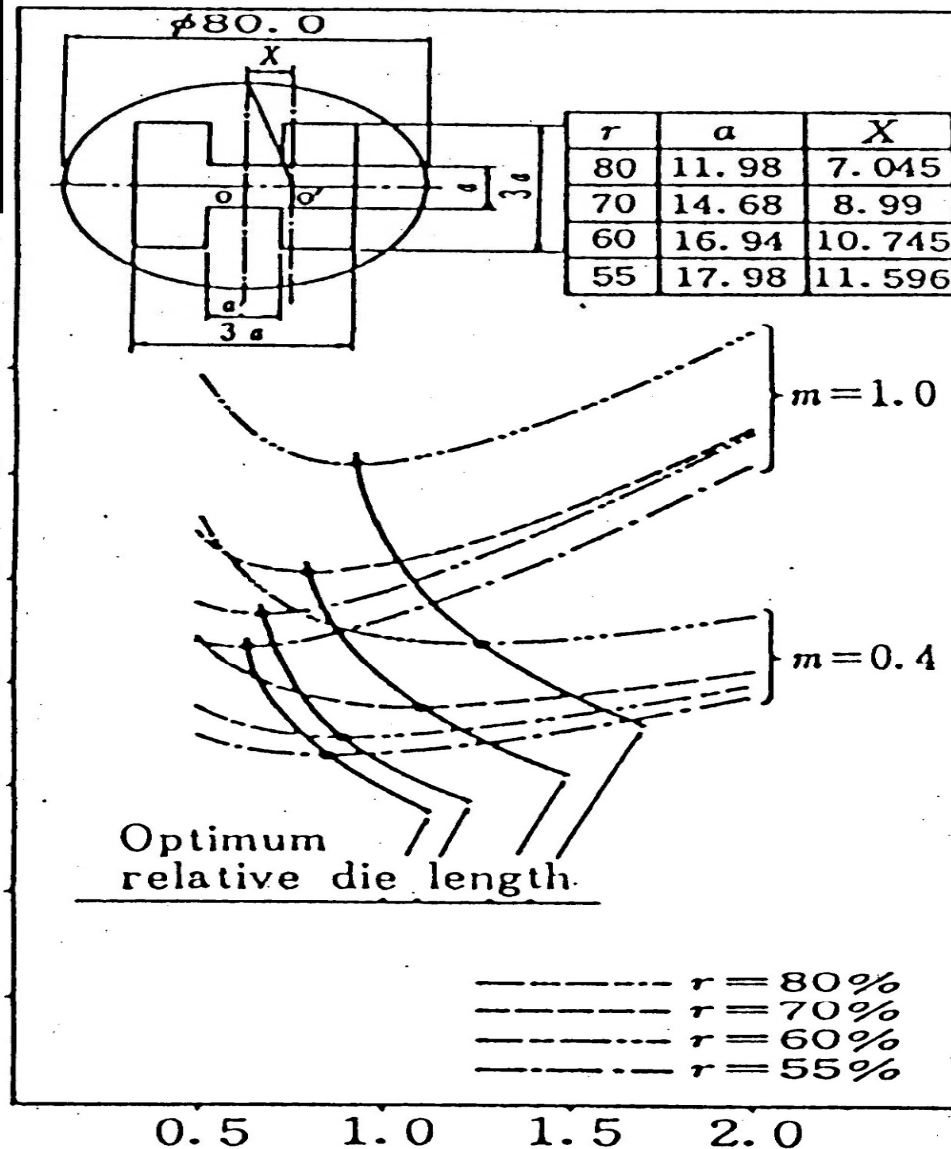
ダイス形状が与えられれば、直ちに、加工に要するエネルギー消費率が計算できるので、最適ダイス形状の探索が容易に出来る。

H形押出しの場合 のダイス長の影響

Relative Stress $\bar{p} = p / \sigma_f$

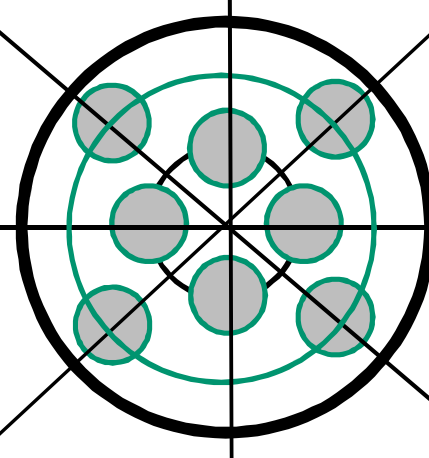
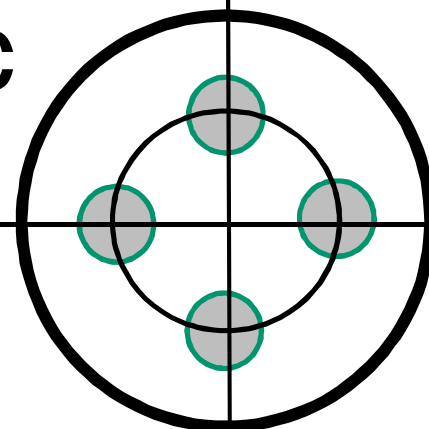
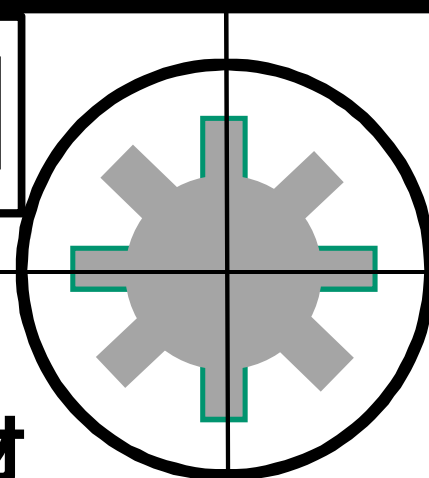
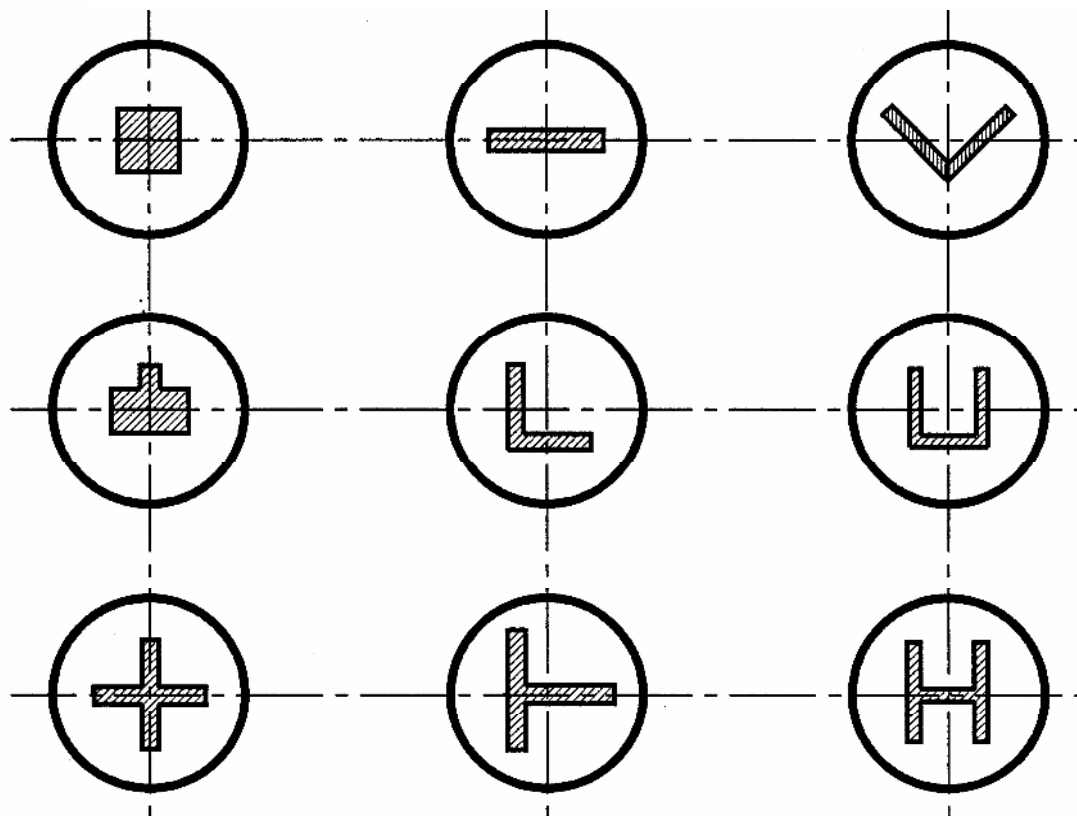
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0

Relative Die Length



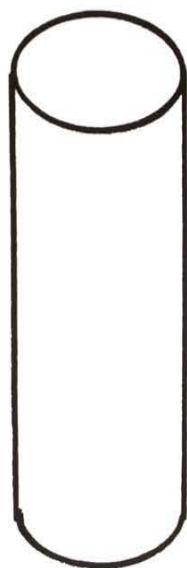
解析モデルの適用範囲

異形形材、異形管材、異形棒材
クラッド棒材、クラッド形材、クラッド管材
異形複合線、多芯複合線、ヘリカル形材
etc

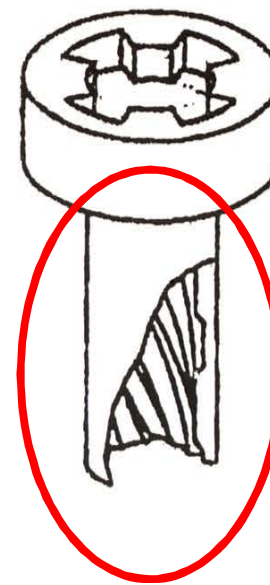
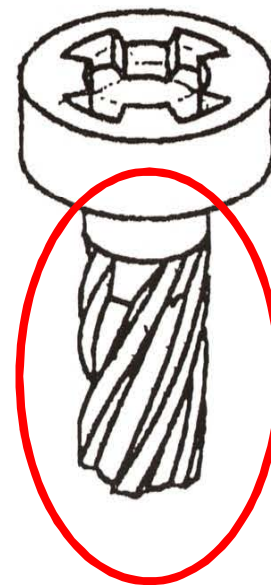


冷間鍛造シミュレーションへの応用

ヘリカル形状を持つ段付き棒材の部分押し出しの解析にも用いられ、適切なダイ形状および押し出し条件の探索にも成功した。



ダイ入口の素材形状、ダイ出口の製品形状、ダイ内表面形状、等を任意に変更しての解析が手早く出来るので、近似最適解の探索が容易である。



開発した解析法の成果

異形棒・線・管材
クラッド棒・線・管材 } 広範囲の数値解析

実加工への応用事例

異形棒・線・管材の製品寸法・加工限界の解明

クラッド棒・線・管材の製品寸法・加工限界の解明

各種型材の押出しダイスの最適設計

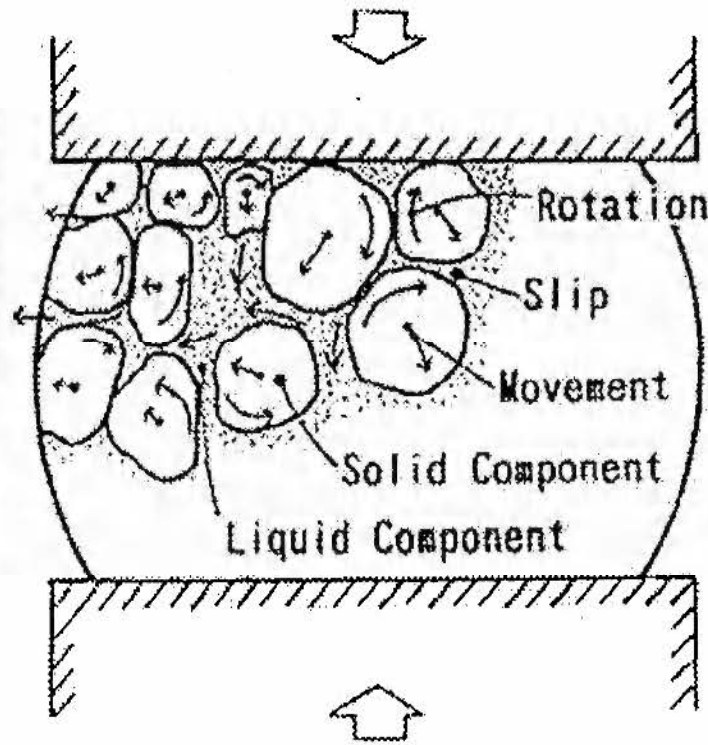
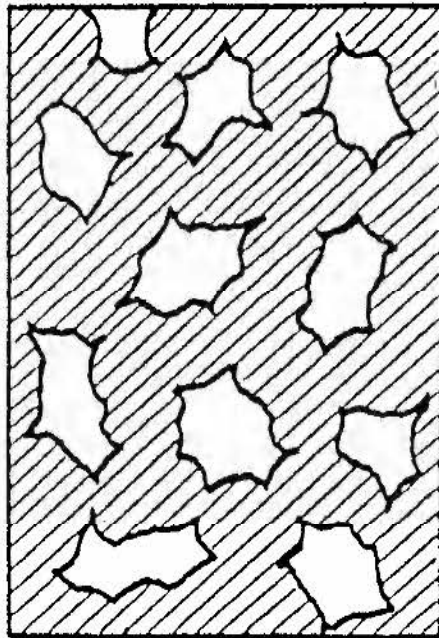
超電導線用多芯クラッド線の安定加工限界の解明

内面/外面フィン付き管の製品寸法・加工限界の解明

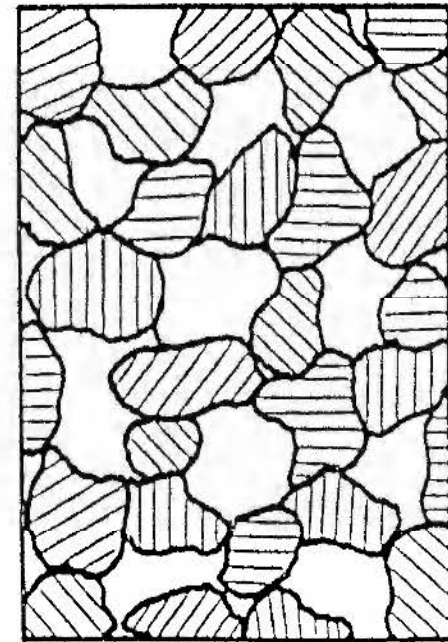
内面/外面ヘリカル溝付き管状品の加工限界の予測

(挑戦事例-2): 未開分野の開拓

Sintered Porous Alloy

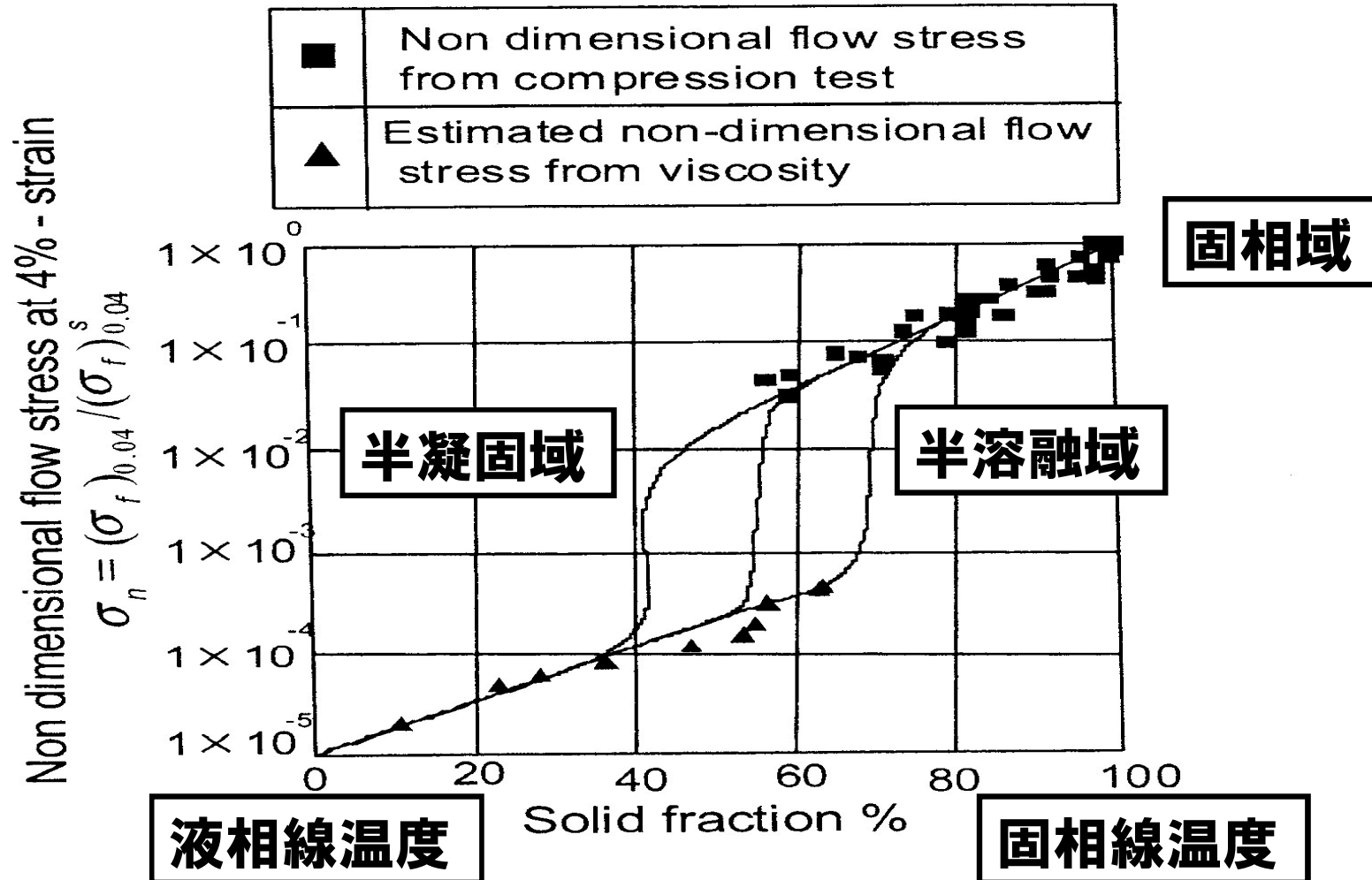


Solid Framework of
Mushy/Semi-Solid Alloy



半溶融・半凝固加工技術の開発

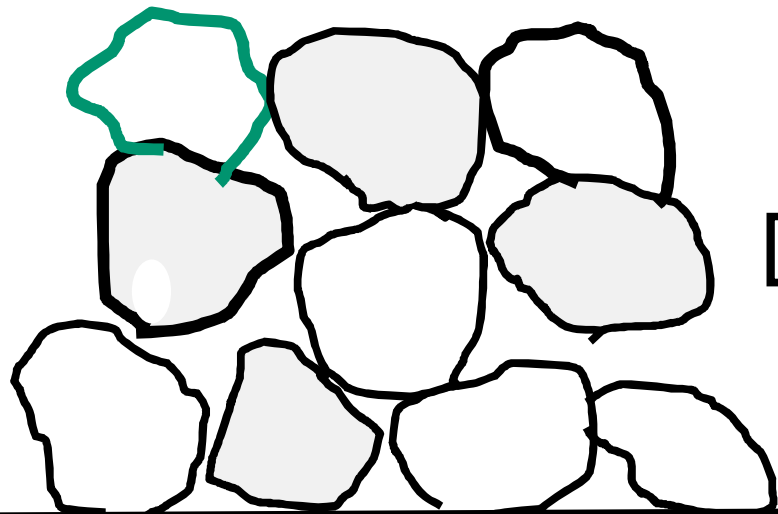
Flow Stress of Metal/Alloy in Mushy/Semi-Solid State



(Non -dimensional Flow Stress at 4% Strain)
- (Solid Fraction) relationship.

金属粉3Dプリンターとの関連

粉粒体の積層：厚さ50～70 μ)



粉粒体の積層状況
(粒形状・粒径・他)

ビーム径
= 30～
100 μ
レーザー光



レーザー光による金属
粉末の溶解凝固焼結

粉粒の溶解、液相の流動、凝固相の変形、等の
挙動、粒間の充填、空隙の形成挙動、製品品質

挑戦が力を育てる !!

特性・機能・品質・環境適合性等

複合加工
接合

極限加工

省エネ

持続的発展
技術的優位

高い目標を堅持しよう！
成果の最大化を追究しよう！
将来への貢献を確信しよう！

課題に正面から向き合う
取組みが、変革力の強化を
もたらす !!

bot協働

テム

テム

化

無人化

製造機械 設備のダウンサイジング

コスト、効率、生産性、省エネ、省資源 等、

6. 総括：基盤知力を!!

**原理・原則・法則性・規則性
に関する基本知識と応用力
を強化しよう !!**

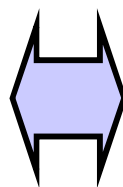
日本：欧米 の 知識基盤・技術基盤

日本 ← **口承型：文書型** → 欧米

?

感性重視型

- 非数量・非系統的
- 属人化指向
- 製品指向型
- 構造理解型



知識重視型

- 数量的・系統的
- マニュアル化指向
- プロセス指向型
- 状況理解型

卓越した技能者がいる一方、
作業者の仕事の水準がバラ
ツキやすい。

卓越した技能者がいないかわり
に、多数の作業者が同じ水準の
仕事をしやすい。

技能伝承・人材育成が難しい

技能伝承・人材育成をやり易い。

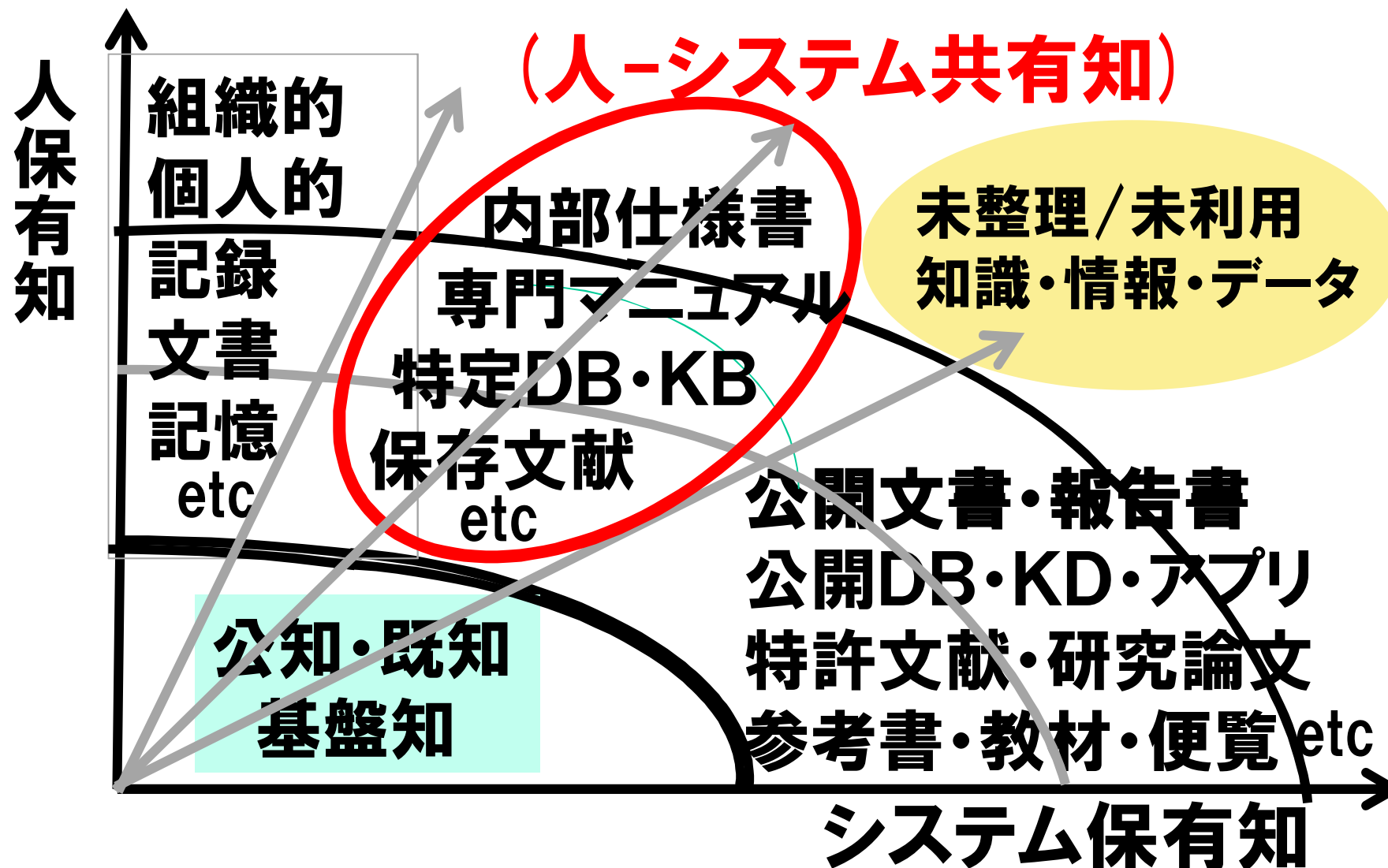
「知識基盤の整備」が必須

日本の製造業では、「知識基盤」が未整備、
知識の数量化・電子情報化 が遅れている。



属人型知識・技術の伝承・蓄積は難しい。
属人型である限り、知識・技術には発展性がない。

知識基盤の構造と特性



基盤知力の弱体化が進行中？

未整理な知識・情報は、知的資源、技術資源、経営資源とはならず、理解力・構想力、ひいては、革新力・突破力の弱体化を招く。

整理なくして蓄積なし !!



- ▶ 合理的判断基準の不足 → 知的活力の欠如
- ▶ 同じ誤りの繰り返し → 技術活力の欠如
- ▶ 技術的理解の不徹底 → 構想力の欠如
- ▶ 進歩・発展への契機の喪失 → 競争力の欠如

知識／技術 の連関強化を！

知識基盤

知識は、技術を産み出し育てる。
知識は、技術の可能性を広げる。
知識は、技術の有用性を高める。
知識は、技術を先導し、制御する。
知識は、技術基盤を強化する。

技術基盤

技術は、知識基盤を豊かにする。
技術は、知識を実践し、検証する。
技術は、知識を評価し、選択する。
技術は、知識を修正し、拡張する。
技術は、知識を創成し、革新する。

知識・技術は相乗スパイラル的に進化



技術は、進化し、体系となり、知識となる。
知識は、技術を先導し、革新し、創造する。

高度な技術は、高度な知識を生み出す。
知識の進化は、技術の先端を切り拓く。

21世紀高度情報化金属加工

技術力+人間力 が先導

無限の可能性探索と持続的進化の実現へ

各個技術の深耕

人間力の融合・協働

人間・技術の調和的進化

20世紀

「モノ技術」
パラダイム

知識Base

情報Base

21世紀

「ヒト・コト技術」
— パラダイム

社会・産業の調和的発展

ICT, B-D, IoT, AI

複相的連関の拡大

付言：大学における研究の3本柱

学術機関として
本来担うべき研究

理論構築
解析分析法
方法方策論
体系論

一般性・汎用性
波及性・応用性
拡張性・体系性
のある学術成果

可能性探索
新事象発見
知識獲得
データ蓄積

企業では
実施困難な
研究リスク

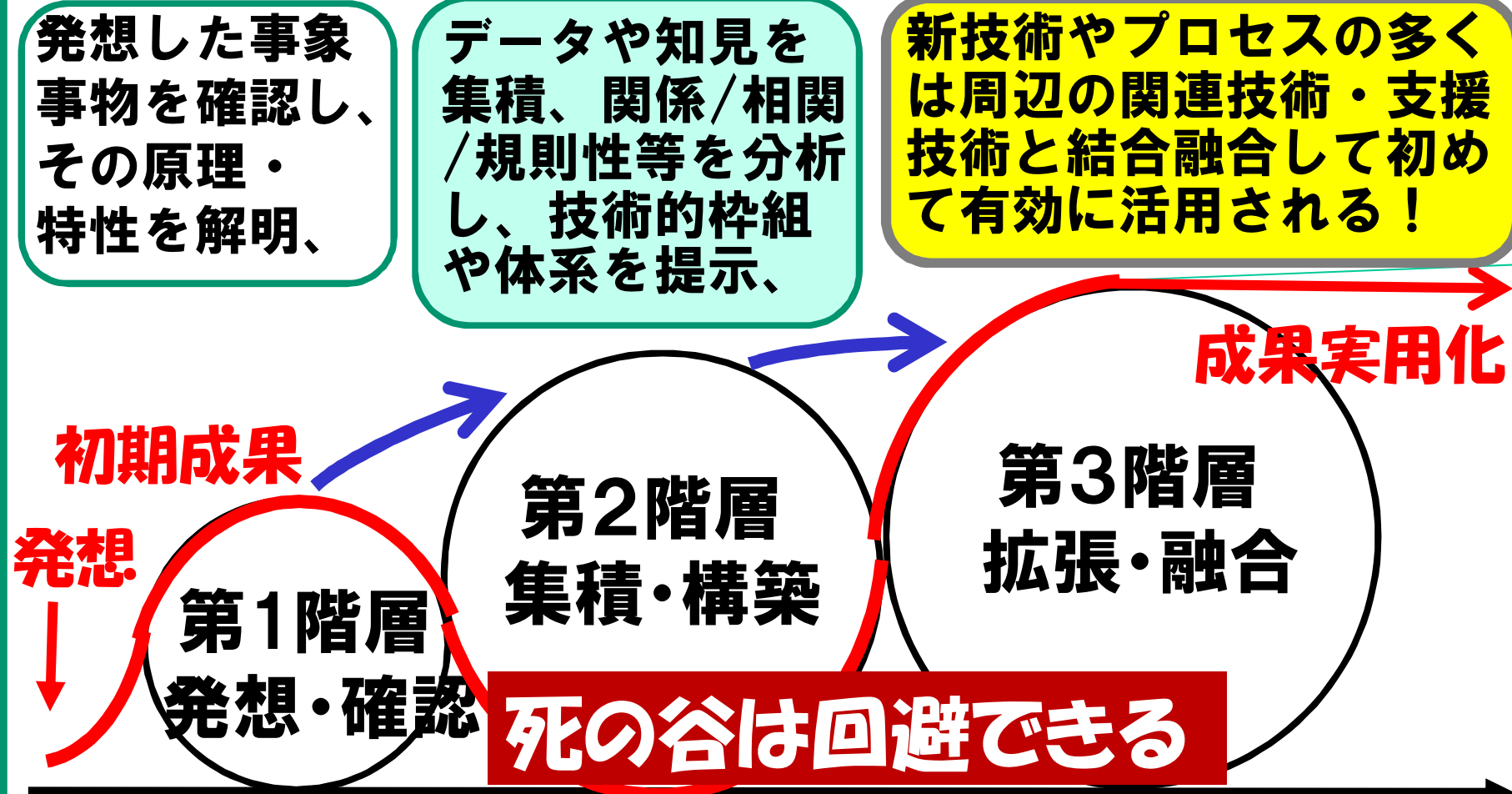
新分野
新プロセス
新技術
新材料

実加工
実製品
改良・改善
拡張・革新

加工合理化
生産性向上
製品質改善
トラブル防止

工学として
なすべき工業
への貢献

基礎研究の階層と課題



日本の金型は世界最高の品質・機能を誇っているが、必要な支援技術が未整備のため、優位性を明示できず、海外で単なるコスト競争に巻き込まれ、敗れている。高度技術には SUB-支援技術が必要である。

(大学における) 研究推進の心構え

1. 最初に全体構想あるべし。

当 当該研究に期待される工学的意義、技術的効果、工業的貢献の可能性について、明確な意識・視点を持ち、明示できること。

2. 開始にあたり、明確な仮説あるべし。

研究の全過程で、投入する諸条件と予想または期待される結果について、その関係性も含めて、一貫した説明が出来ること。

3. 研究推進総体フローチャートを作成すべし。

開始から最終結果に至る出来るだけ詳細なフローチャートを作成し、計画性を高めると共に、最善を目指し改変していくこと。

4. 結果は他者が利用できる形で提示すべし。

如何なる結果も、工学・工業の場で、他者が利用できる形で提示されなければ意味が無い。これを確実に実行する必要がある。

— 総括 —

- ▶ **創造とは、蓄積し理解を深めた知識が熟成し、自ら新たな知識を生み出す“知力の自己増殖作用”である。**
- ▶ **革新力・突破力は、広く深い知力により生み出され、創造力で強化される。**
- ▶ **革新と限界突破, 進化と未来を目指す企業・組織・個々人は、徹底した知識の蓄積と理解の深化を追求する必要がある。**

講演終了

ご清聴ありがとうございました。