

科学と社会

吉川弘之

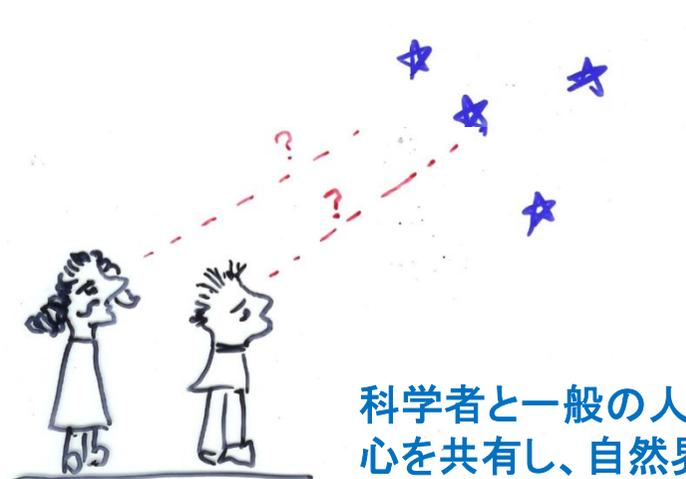
研究開発戦略センター・科学技術振興機構

防衛省・技術研究本部創立60周年記念講演会

2012年11月13日、グランドヒル市谷

1. 科学とは何か

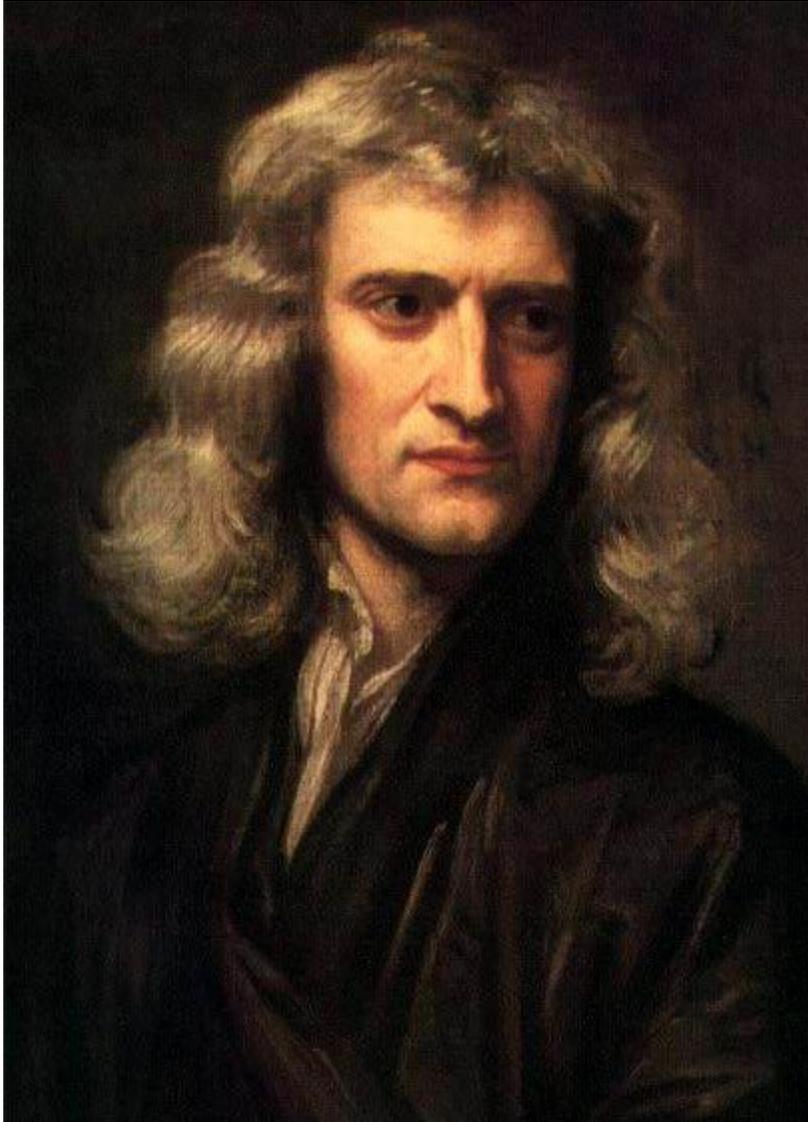
科学は自然界の多様な現象の背後にある普遍的な法則を
求めようとする。



科学者と一般の人々は好奇心を共有し、自然界の現象の背後にある法則を想像した

古代:好奇心の共有

Sir Isaac Newton(1642-1727)



サー・アイザック・ニュートンは、全く違うように見える現象の背後に共通の法則があることを発見したという点で偉大である。

例えば彼は、

天空の星の運動

木から落ちるリンゴ

の全く違う現象が同じ法則に従っているとした。これは今から考えるとまことに大胆な仮説である。

しかも彼は限られた現象から、あらゆる現象に共通に適用できる法則を発見した点で偉大である。

ニュートンの法則はどこでも通用する



英国のWoolsthorpe-by-Colsterworthでリンゴが落ちるのを見たニュートン



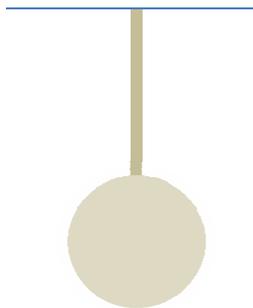
リンゴのない南の島にいる別の人にも同じ法則が“見える”

ニュートンの3法則

1st law

力を加えられない
物体は同じ運動を
続ける

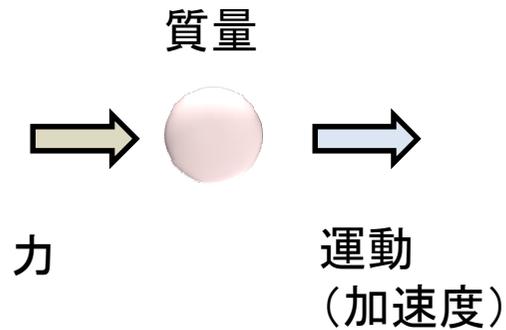
$$\sum \mathbf{F} = 0 \Rightarrow \frac{d\mathbf{v}}{dt} = 0.$$



2nd law

力を加えられた物体
は加速度を持つ

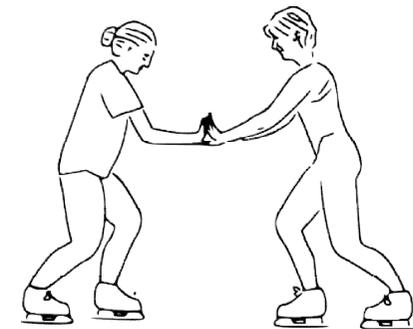
$$\mathbf{F} = M\alpha$$



3rd law

作用と反作用

$$\sum \mathbf{F}_{a,b} = - \sum \mathbf{F}_{b,a}$$



はやぶさ

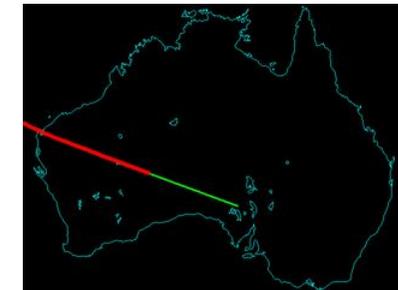
$$F=Ma$$

ニュートンの第2法則

人類(科学者)は、科学的知識を使って、情熱的に未踏のプロジェクトに挑む



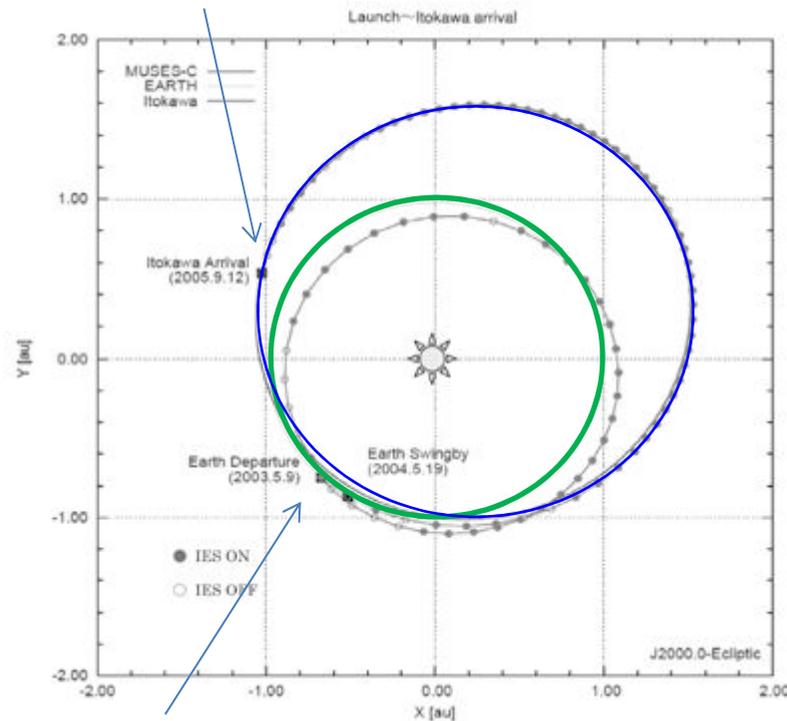
着地10分前



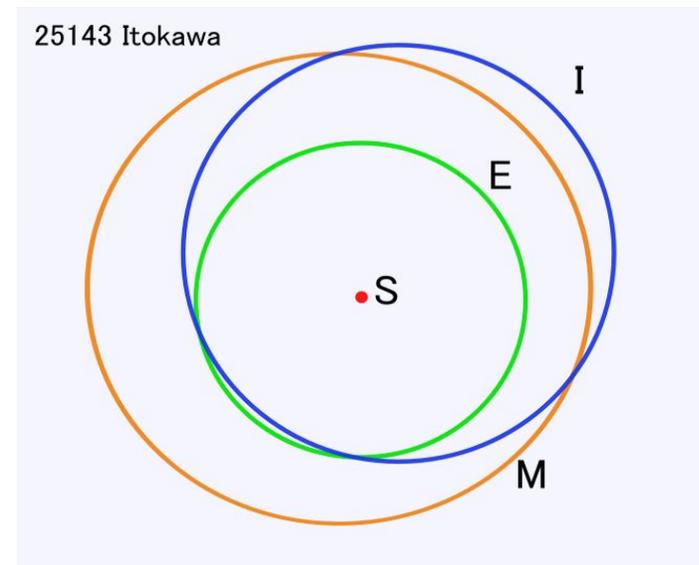
着地5分前

地球から小惑星“いとかわ”に向かう人工惑星“はやぶさ”

いとかわに到着(2005.9.12)



地球から出発 (2003.5.9)

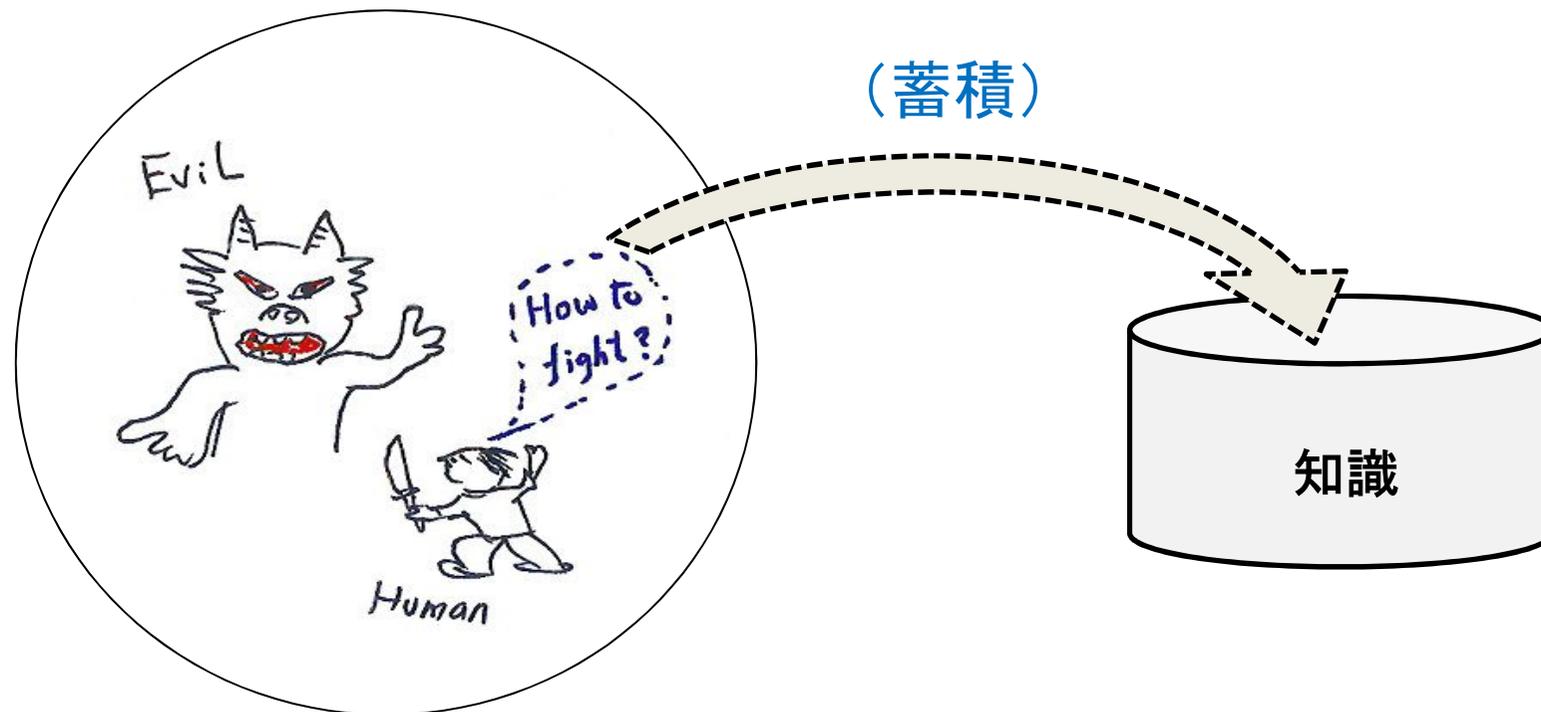


軌道: 太陽, 地球, 火星 そしていとかわ

科学は偉大だ。しかしはやぶさは4年で帰ってくる計画だったのに7年かかってしまった。

2. ニュートン以後の科学の発展

科学的知識創出の動機



人は邪悪なるものと戦い、
そして「勝利」と「知識」を
同時に手に入れた。

知識は蓄積され、整理され、「科学」となった。そしてその知識を使って人工物を創出した。

過去の邪悪なるもの

嵐
旱魃
洪水
地震

病原菌
害虫
猛獣

海賊
盗賊
暴君
邪心
貧困
(食料、家、衣服の不足)

未知なるもの(好奇心、恐怖)

これらは善良な人類を
外から襲う外敵であった

科学知識の創出

戦った相手(敵)

生み出された知識
(学問分野)

邪悪な欲望



Ethics 倫理学

暴君



Logics 論理学

伝染病



Microbiology 微生物学

嵐



Meteorology 気象学

地震



Seismology 地震学

未知なるもの
(好奇心、恐怖)



Physics 物理学

100を超える学問分野が作り出され、今なお増加中である

3. 科学と技術

17世紀に科学が誕生するはるか以前から、技術は存在した。したがって科学と技術とは別物である。しかし、18世紀の産業革命のころから、技術は科学に依拠するようになった。現在の技術はすべて科学的知識に基礎づけられているといつてよい。

科学と技術

科学



ニュートンは現象を観察し、それを駆動する法則を発見した。

技術



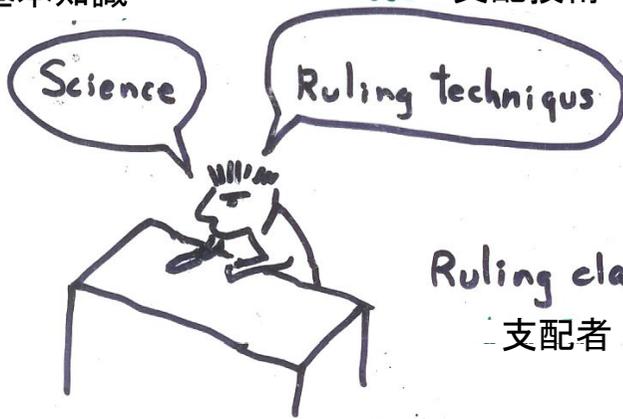
農家は現象を利用して収穫する。彼らはニュートン力学の法則を研究したわけではない。

技術の創造

古代の技術: 第1のパラダイム

天文学と幾何学
の基本知識

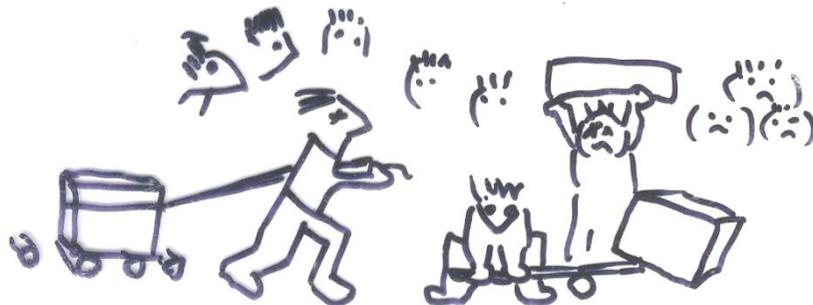
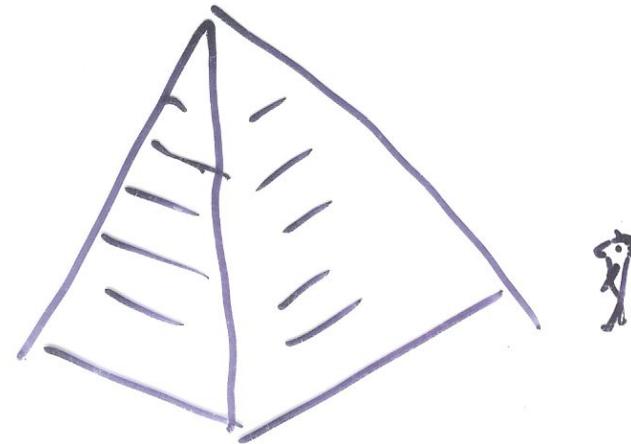
支配技術



Ruling class
支配者

+

=



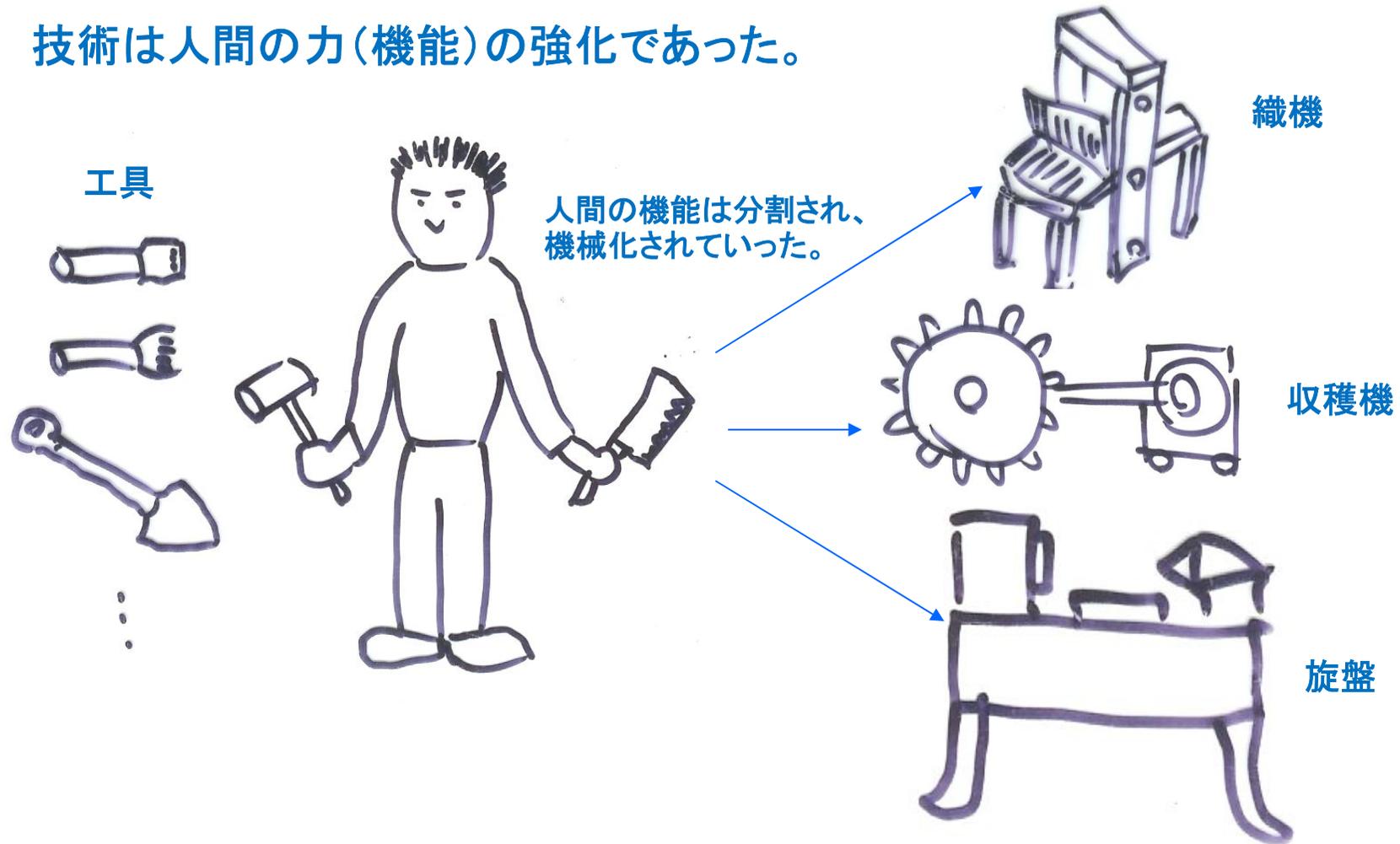
被支配者

技術は人の能力に依拠していた。

技術の創造

中世における諸発明: 第2のパラダイム

技術は人間の力(機能)の強化であった。

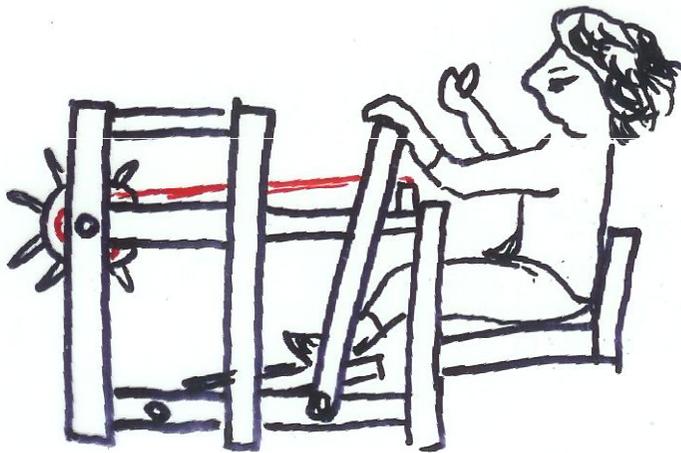


機械の形は人間の作業形態にどことなく似ている

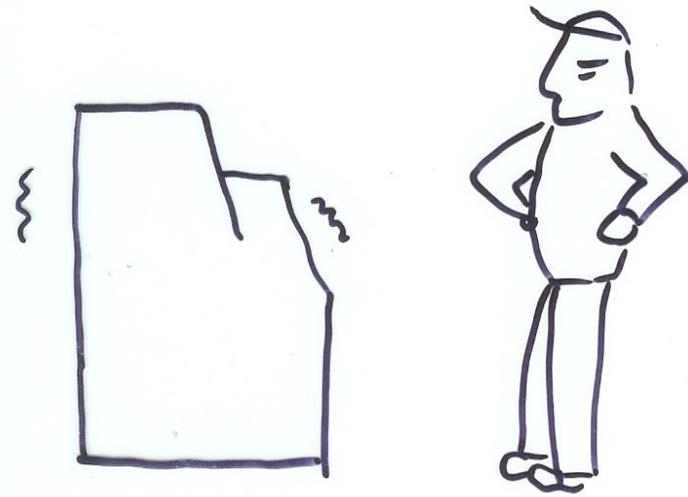
産業革命へ(1)

第2のパラダイムの展開: 剛体化と動力

一体であった人間と機械は分離され、機械は人間から遠く離れてゆく



柔構造と人力



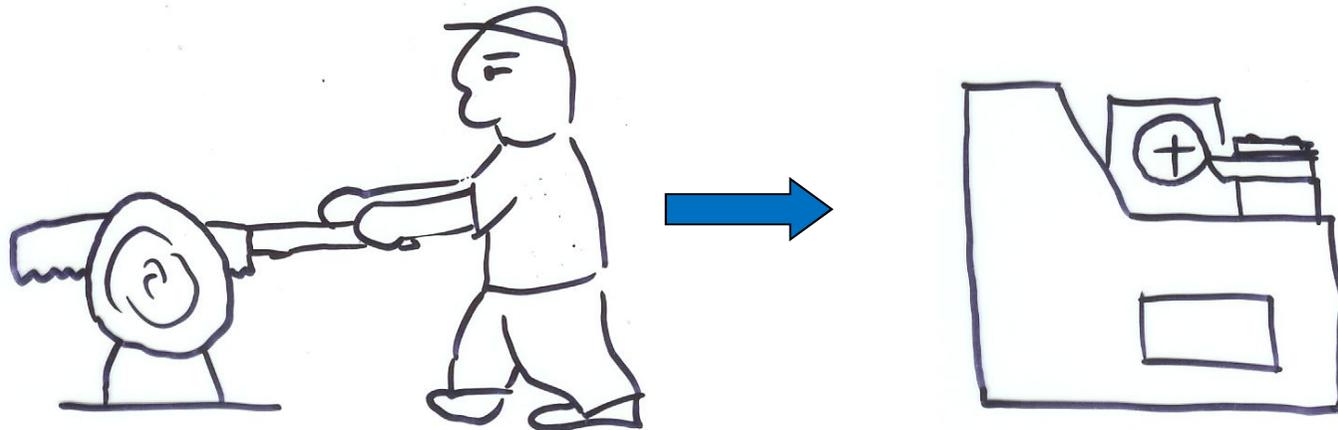
剛構造と動力

剛体信仰!

産業革命へ(2)

第2のパラダイムの展開:運動自由度の減少と内向化

技術は科学によって基礎づけられた。



多自由度と外向的作業

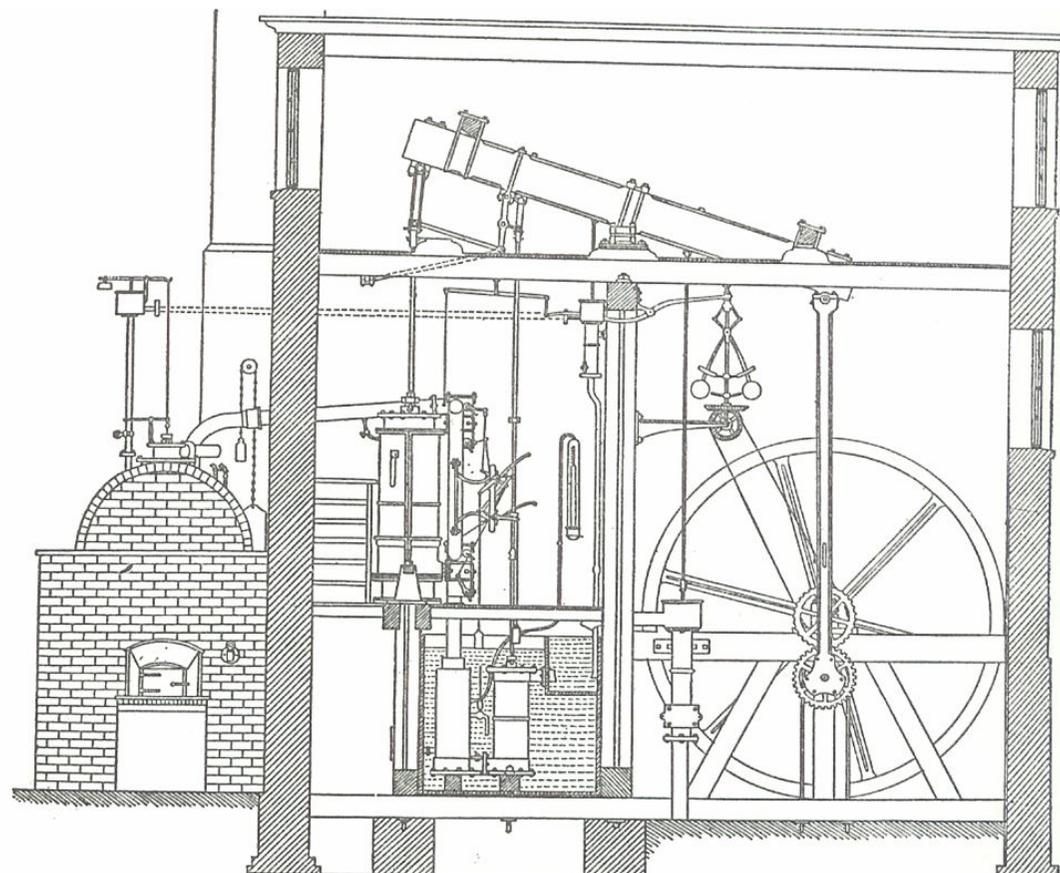
少自由度と内向化

無人化工場の剛体信仰

ジェーム・ズワット: 蒸気機関 (1784)

多数の知識の統合

熱力学、材料力学、運動力学、機械加工学など



情報技術の登場

第2のパラダイムの展開



頭脳労働



頭脳労働の自動化
(高速、正確、強力)

第3のパラダイム

ロボットは（**工作機械**などに比べて）

剛性が低い

高速作業は得意でない

精度が悪い

強力でない

従ってロボットは、産業革命とその後の技術発展の中心思想“**剛体信仰**”に従えば劣等生である。しかし**ロボット**は

器用であり、複雑な作業ができる

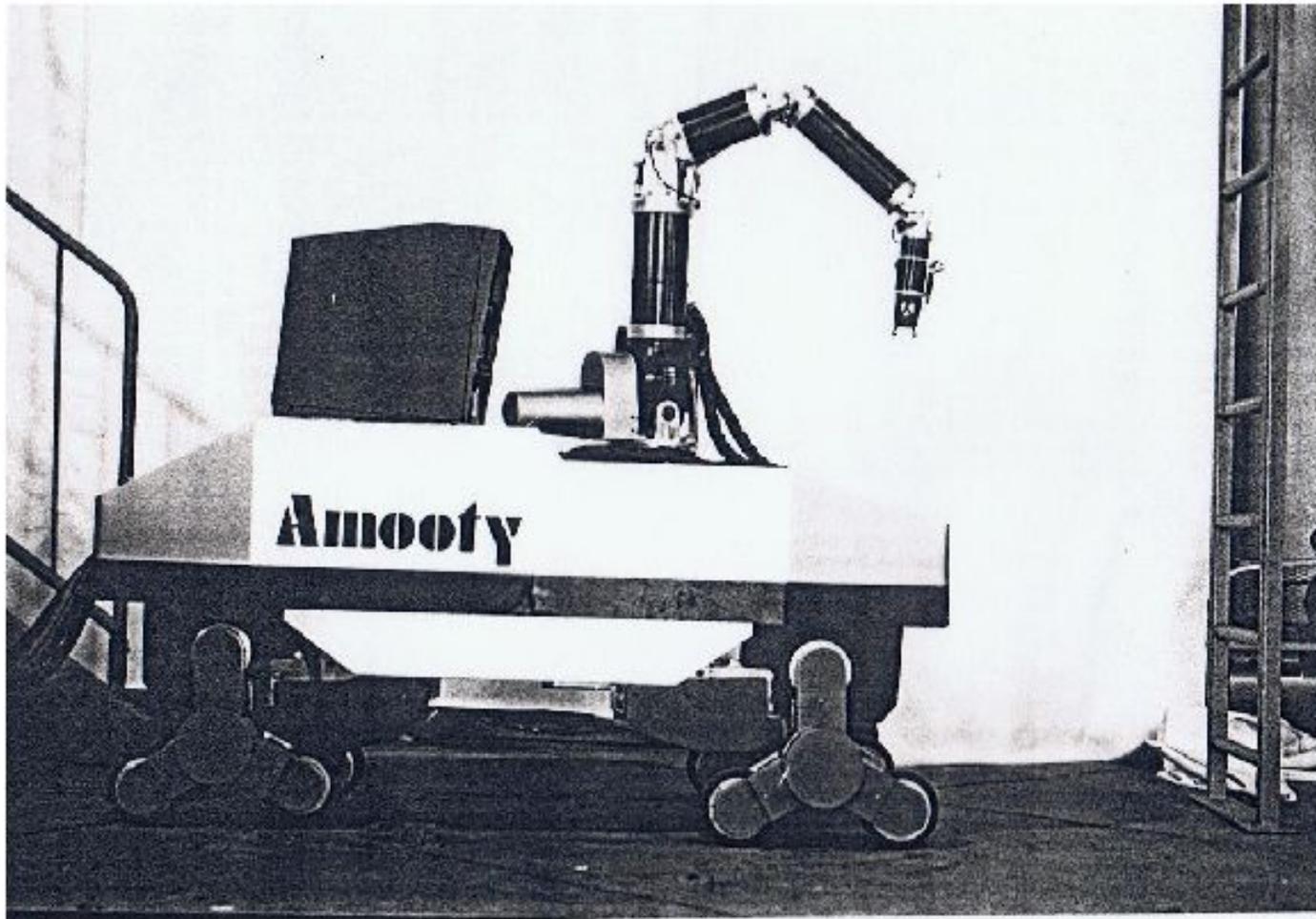
柔軟であり、多様な仕事ができる

適応性を持ち、環境に順応する

創造性があり、未経験の状況に対応する

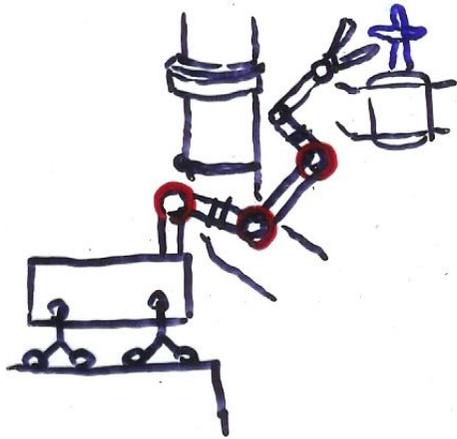
新しい機会への期待

Maintenance Robotics with an Arm of 9-degrees-of freedom (Amooty)

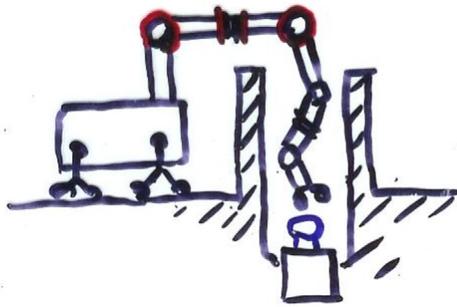


A design : metamorphic manipulator (9 degrees of freedom of motion)

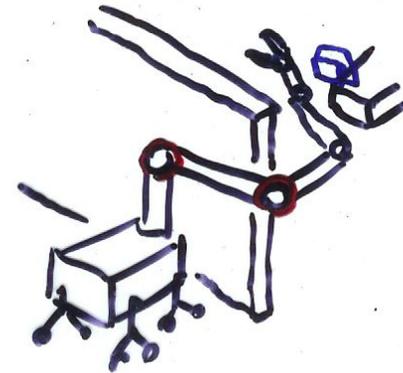
Examples of operation :



Avoiding obstacles



Deep in a hole

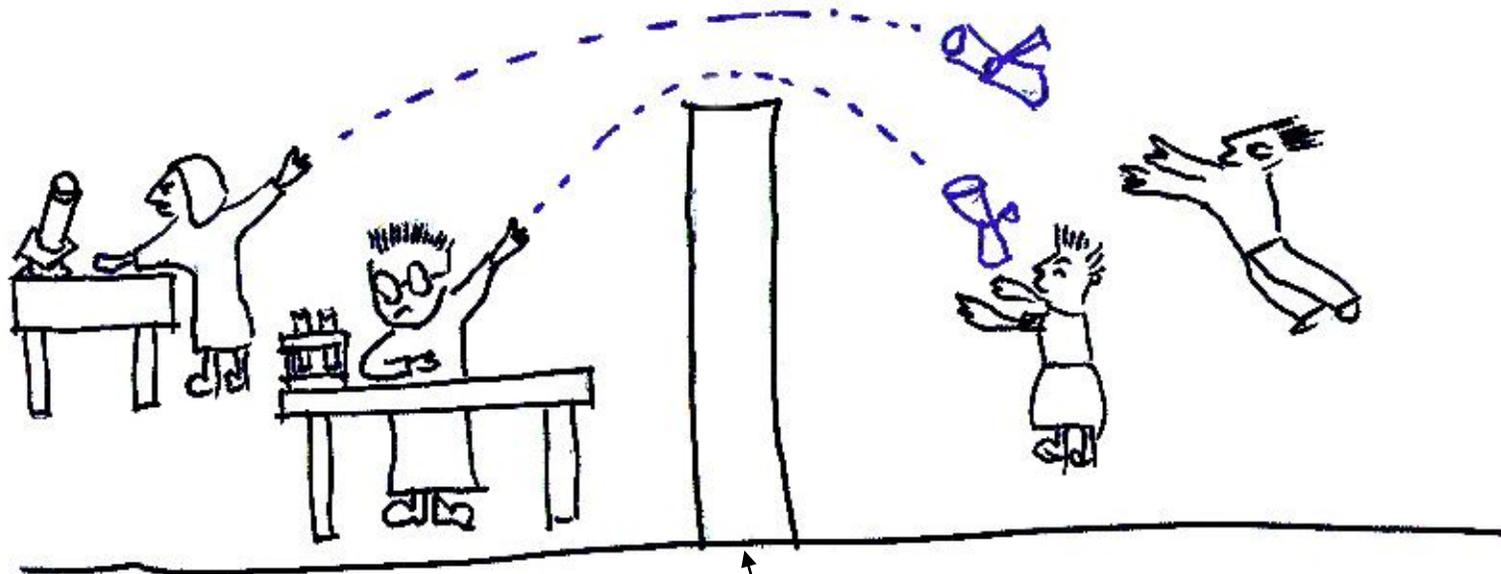


*Preventing herself
from high radioactivity*

4. 産業革命後の 科学に基礎づけられた人工物の急速な発展

科学知識の使用は壁の外にいる人たちにゆだねられる

知識は科学論文によって運ばれる



科学コミュニティ
= 分野別研究者

社会
= 俯瞰的な視点を持たない知識使用者

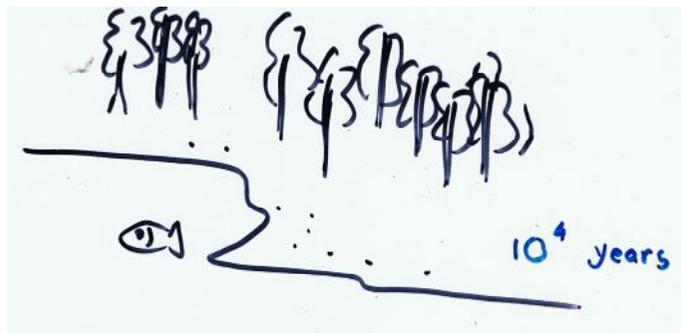
厚い壁があって、科学者と社会との対話はない

人工物は複雑性を増してゆく

人工物	構成部品数
ARTEFACT	NUMBER of PARTS
Nuclear power plant	10,000,000
Aircraft	5,000,000
Super computer (KEI)	1,000,000
Space station	250,000
Personal computer	200,000
Engine car	30,000
Liquid crystal TV	10,000
Electric car	10,000
Television	3,000
Machine tool	3,000
Smart phone	1,000
Mobile phone	300
Paper weight	1

多くの種類の人工物が生み出されると同時に、それぞれは急速に複雑になっていった。そして人間の統御能力を超えてゆく。

人工物の寿命は驚くべき速さで減少してゆく



我々に食料や燃料を与えてくれる自然は、何万年の寿命を持っている。



人工物の進歩は、短寿命化と関係してる。それは常に新しい人工物を求める傾向の結果である。その極限がスローアウェイ型の商品であろう。その結果メンテナンスはつまらない仕事と考えられるようになり、無視されることになった。



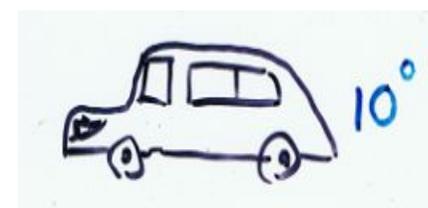
ピラミッド、
数千年



教会建築、
数百年



蒸気機関車、
数十年



自動車、
数年

ギリシャ時代の哲学者の自然観

永遠の存在と止まることのない変化.

科学者が存在物の不変性に興味を持ったとき(デモクリトス:アトム)、彼らは物質の局所的性質を調べ、不変性を理解するのに有効な学問領域を創出した:

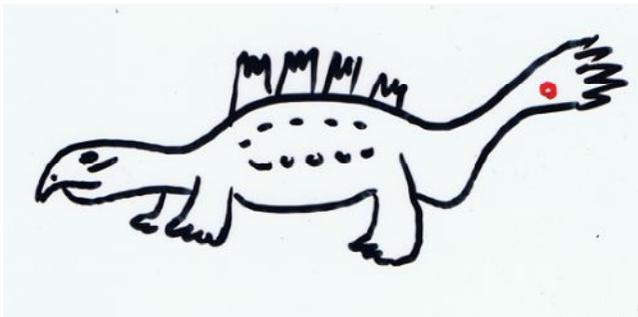
- (1) 存在についての法則に基づく理論として
物性論、素粒子物理学、分子生物学、等
- (2) 微視的変化の法則の理論として、
拡散理論、化学反応論、発生学、等

これらの学問はそれぞれ自立した領域をつくり、各学問領域の完成度は高い。

科学者が存在物の変化に興味を持ったとき(ヘラクレイトス:パンタレイ)、彼らは物質の全体を対象として変化を調べ、変化を理解するのに有効な学問領域を創出した:

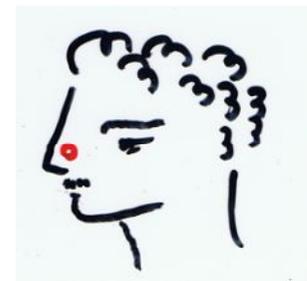
- (1) 巨視的変化についての法則に基づく理論として
地質学、考古学、古生物学、等
- (2) 変化原因の法則の理論として
進化論、地層生成論、気候変動論

これらの学問は、自立した領域を作ることができず、領域としての完成度は低い。

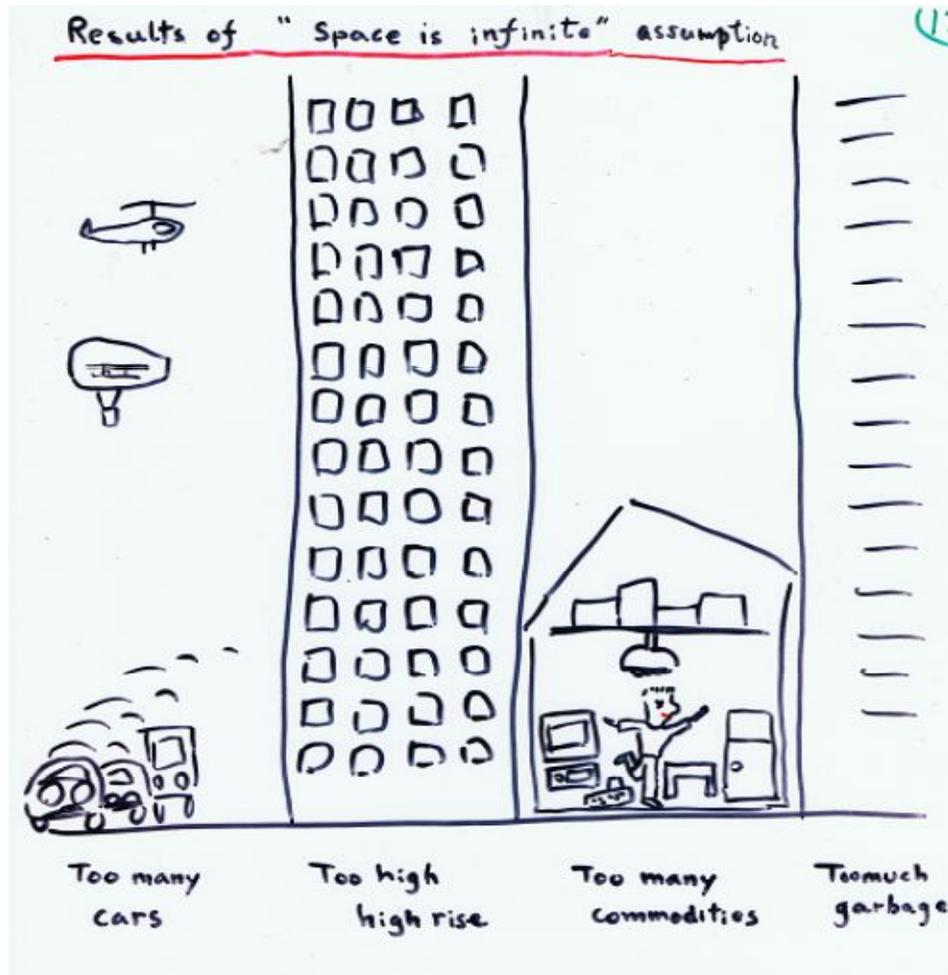


万物は流転する/ヘラクレイトス

今、私の鼻にあるこの原子は、
7000万年前に恐竜のしっぽに
あった。

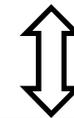


無限性仮説の終焉



科学を使って何でもできる——それはそうだ。しかし空間を作れるか？

"Science, the Endless Frontier"
科学、終わりになきフロンティア
by Vannevar Bush (1945)



"Limits to the Growth"
成長の限界
by Club of Rome/ D. Meadows (1972)

5. 現代の邪悪なるもの

現代の邪悪なるものは、人工物の氾濫、制限のない複雑化、そして
メンテナンスの不在により出現した

現代の邪悪なるもの

人口爆発と飢餓、
貧富の格差、
巨大都市の中の貧困、

地球環境の悪化、
人工システムの事故の巨大化
新種の感染症
(HIV、新型インフルエンザ、BSE)

民族間紛争、
テロリズム、

都会の中の孤独、
電子犯罪
金融の現実からの乖離

今、現代の邪悪なるものが出現しつつある。そしてそれらは過去の邪悪なるものと異質である。そこには可視的な外敵がない。しかし恐らく敵は人の意図や行動の中にあり、それらが相互に関係しながら(従って非独立に)しかも人々が気づかぬうちに攻撃をかけてくるのだ。これは可視的で独立の外敵よりも戦うのが難しい。我々はそれと戦う方法をもっていない。

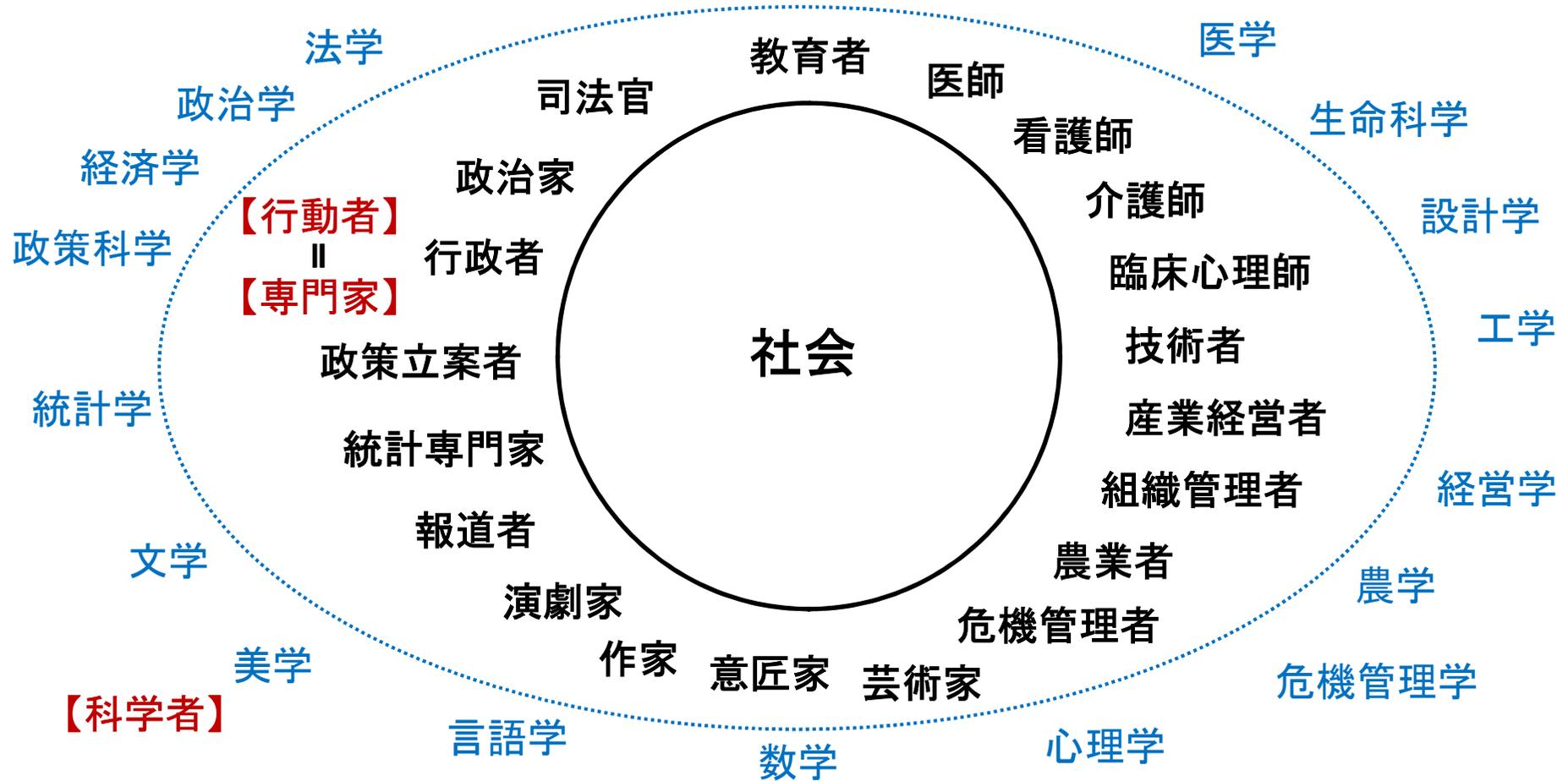
技術間の矛盾、技術と社会の間の不調和、持続可能な開発の矛盾

FUKUSHIMA, 現代の邪悪なるものの典型!

人類は新しい人工物を作り続ける。科学がそれを完全に解明する速度が追い付かない。地球温暖化も福島も、いずれもこのことが原因でおこったのだ。科学者は、科学に基づいて作られた人工物の本質を理解する努力をするべきだ。それは現代の邪悪なるものを含んでいるかもしれないのだから。(科学者の第二の仕事)

科学者・専門家の社会的貢献

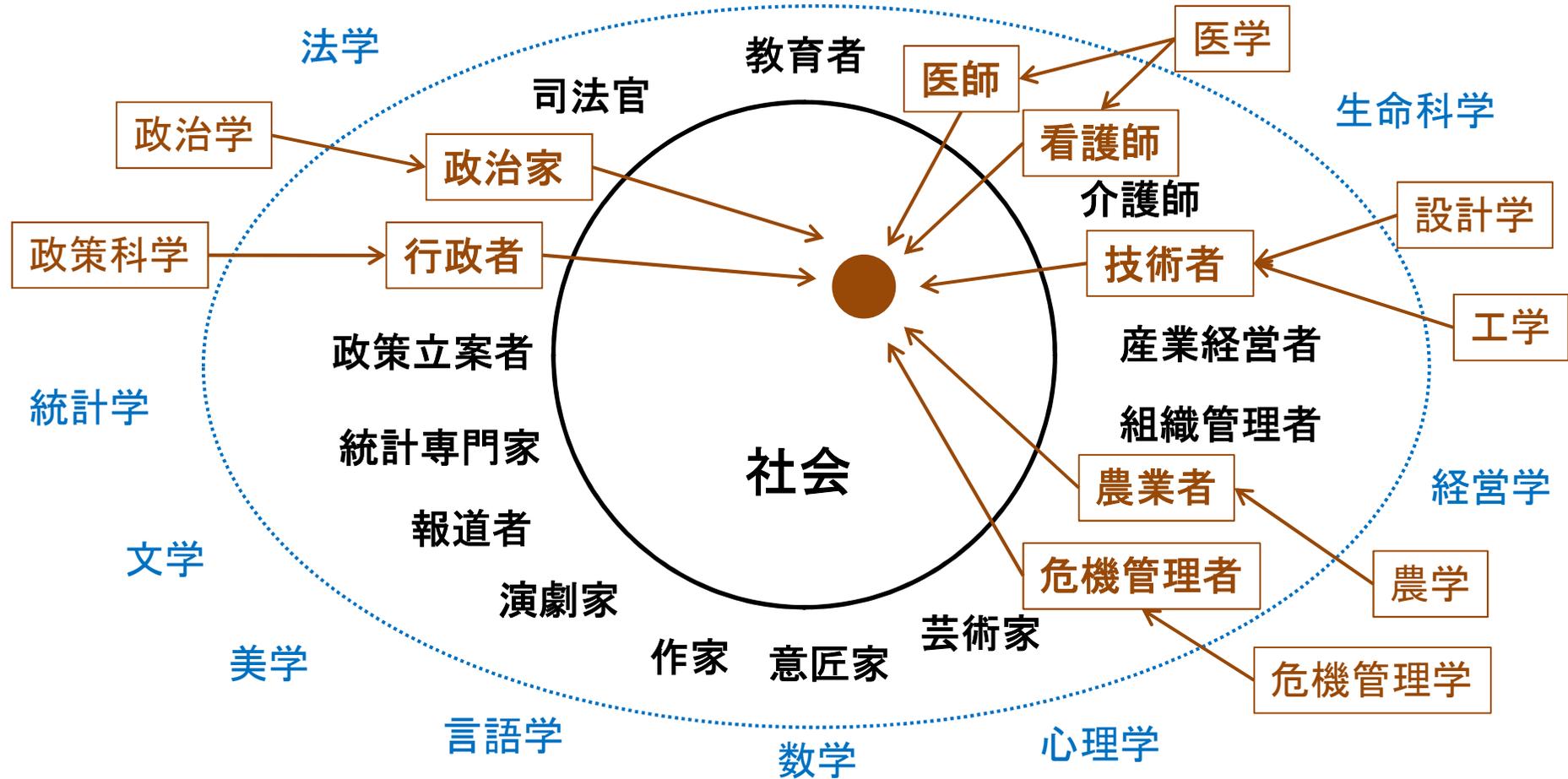
科学者は、研究によって知識を生み出し、対応する専門家に提供する。



社会は、様々な**専門家**がそれぞれの“役割”を果たすことによって、維持され、発展してゆく。

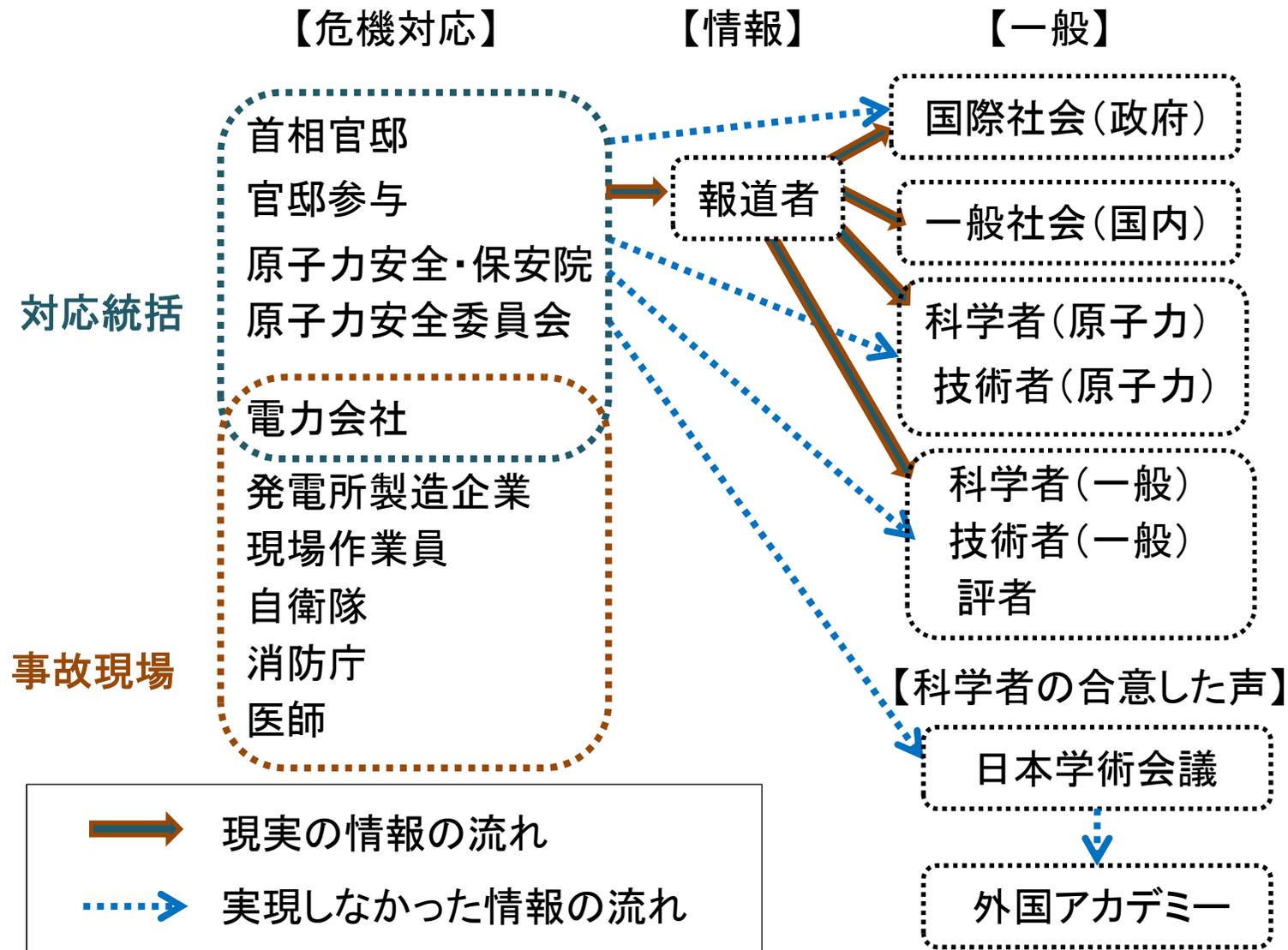
福島原子力発電所の事故(危機)への対応

【科学者はそれぞれの専門分野の知識を持ち寄り、対応への助言をまとめて行う】

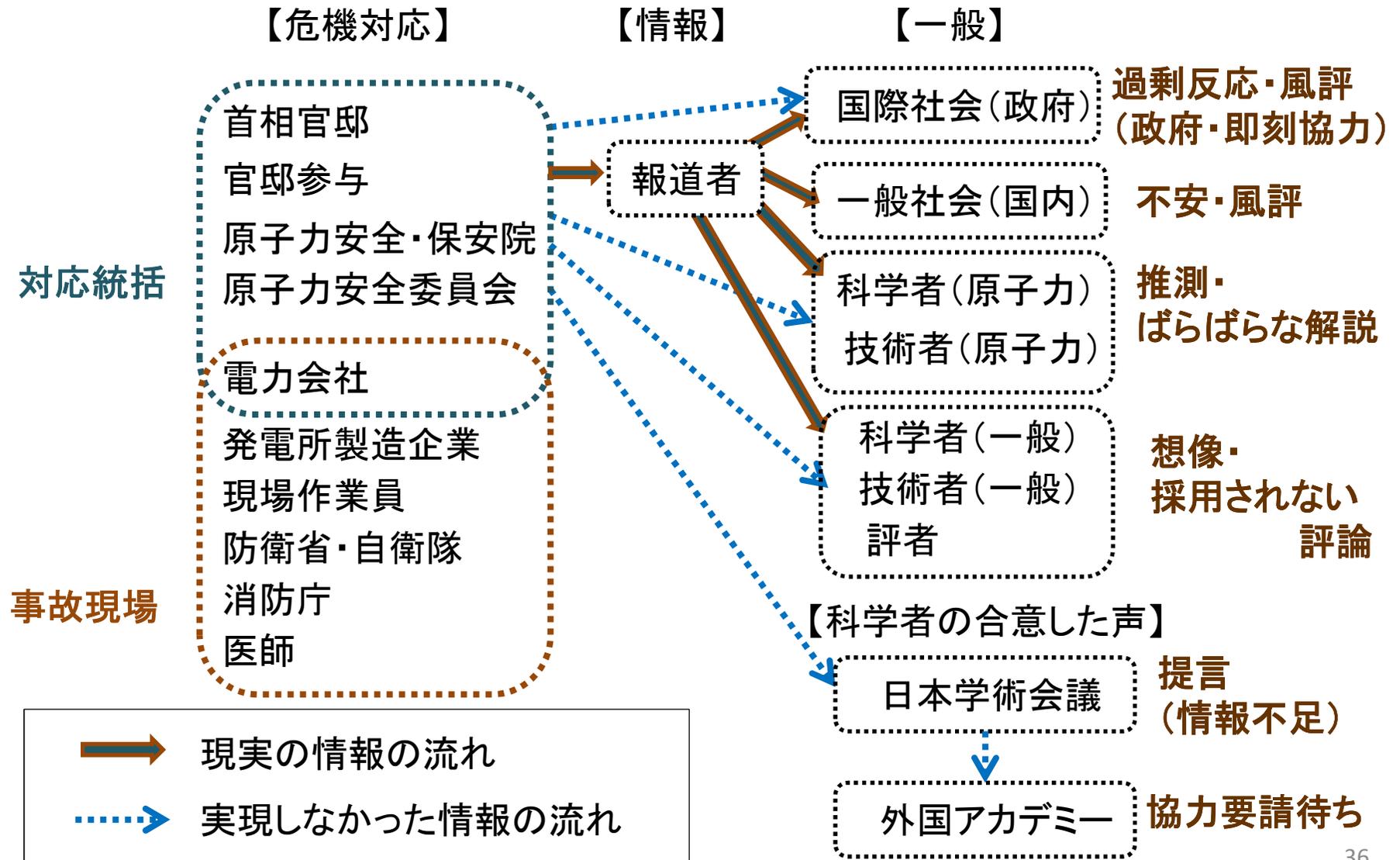


危機においては、平常時において別行動しているものが協力する。

危機(Fukushima)における必要な情報の流れと現実

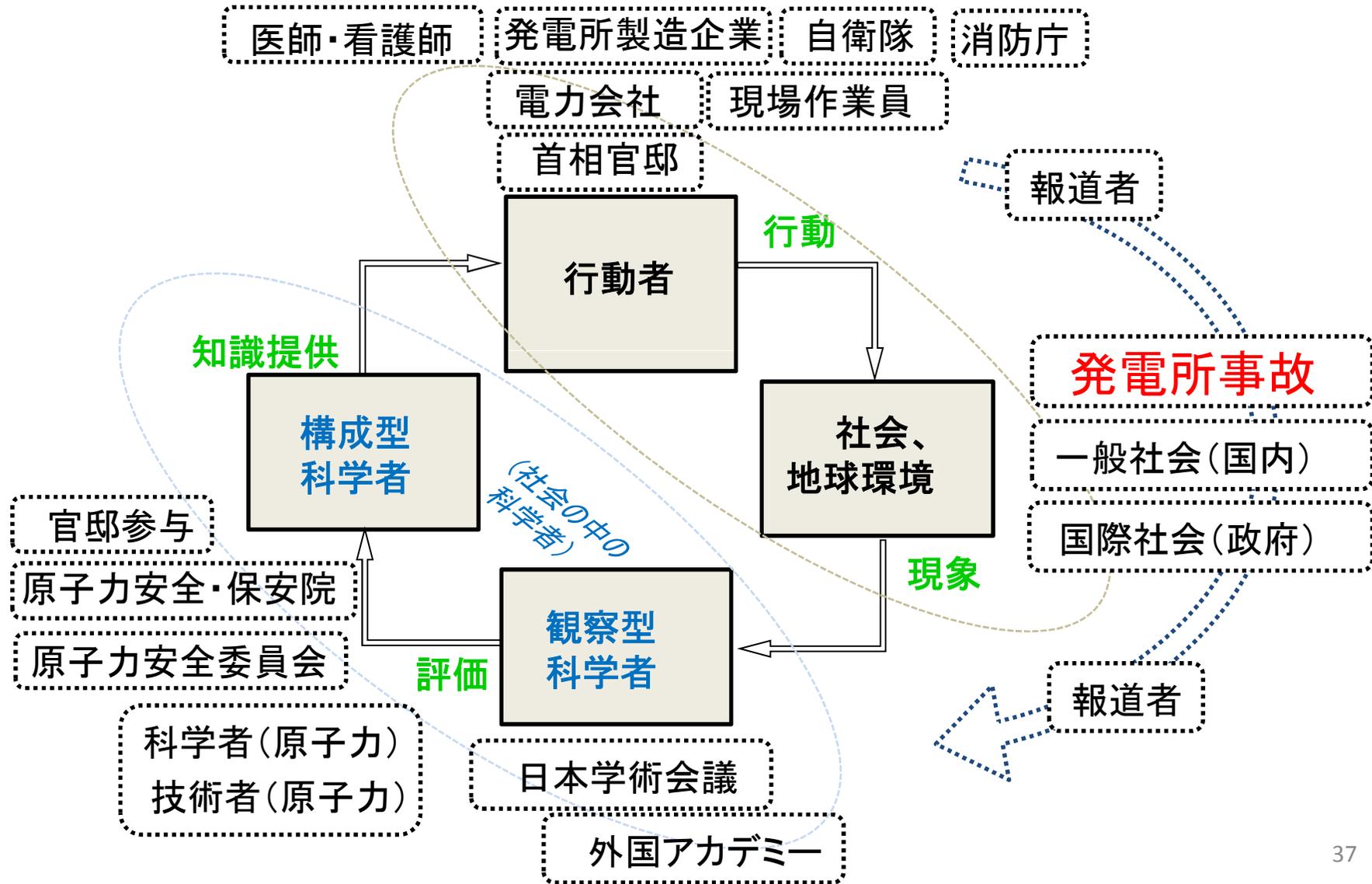


危機(Fukushima)における現実の協力

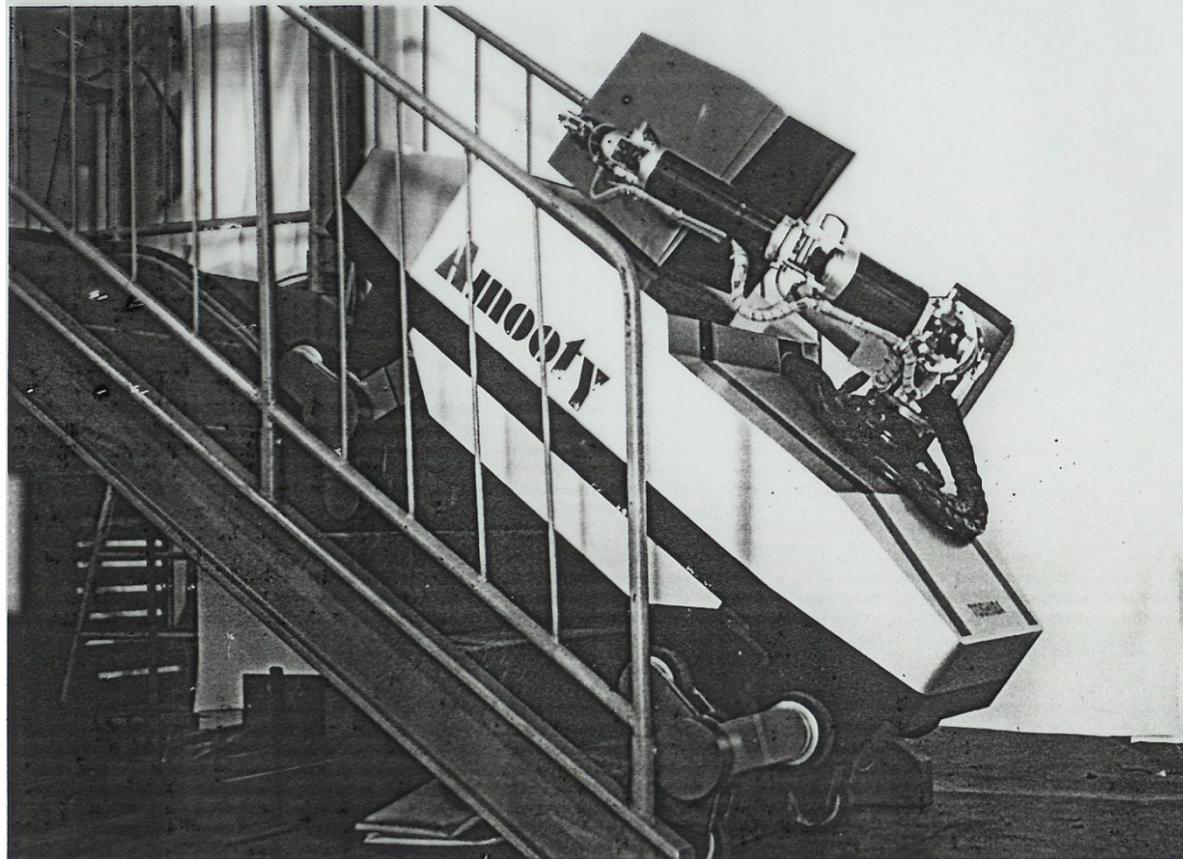


事故時の情報循環

知識が行動に届かなかった



Maintenance robot “A-mooty” for nuclear power plant (old advice by HY in 1978)



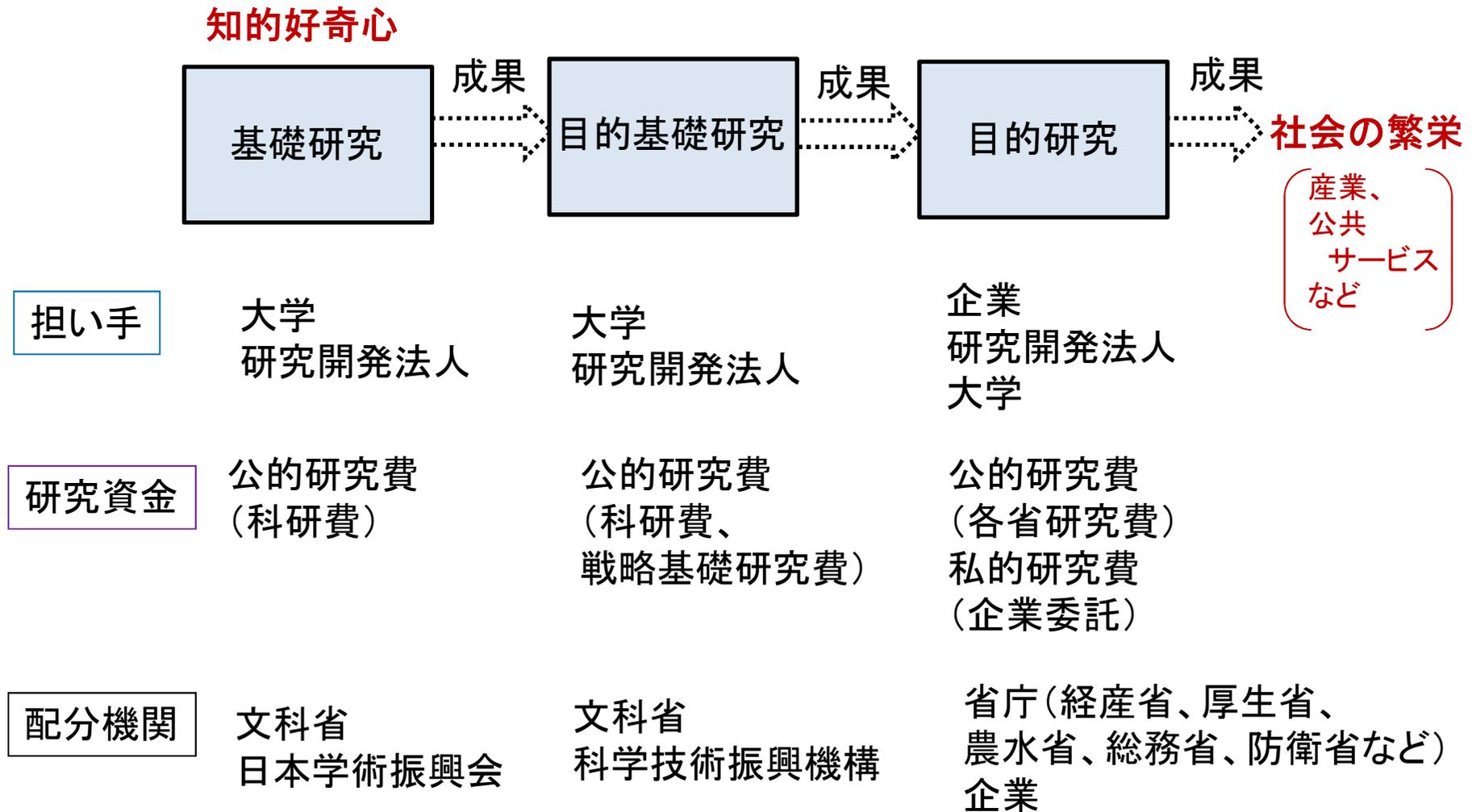
A robot for nuclear power plant was proposed in Japan before Three Mile Island accident in 1979, but was not used because of poor communication between nuclear scientists and mechanical scientists.

原子力発電所のための保守ロボットは、スリーマイルアイランド事故よりも前にすでに提案され試作されていた。しかし現実に使われることはなかった。

6. 社会のための科学技術

伝統的調和と科学政策

研究動機は知的好奇心であり、社会的期待は考慮されなかった



研究開発における役割連携

分析研究：“現象・存在を知り”、その背後にある“本質(真実)を知る”

物理学、化学、生物学、地質学、
社会学、経済学、心理学、言語学など

構成研究：本質についての知識を利用して“事実(現象・存在)を作る”

設計学、製造学、システム工学、人工物工学、
領域工学(エネルギー、車両、通信、建築、計算機、防衛技術など)
サービス工学、法学、医学、薬学、教育学など

同化研究：作られた事実を、存在する自然、人工物系、社会に“同化させる”

都市計画学、道路工学、経営学、産業論、領域法学、臨床医学、
政治学、行政学、など

“科学の社会的貢献”を考える時、これら3種の研究(それぞれ基礎と応用を持つ)が統合されて始めて現実の貢献が起こる。単独では貢献はない。ここでこの統合を**役割連携**と呼ぶが、その方法は社会(自然環境、生活水準、制度、習慣、人間関係、感性、など)の特徴を反映する。したがって、独自の社会を持つ日本で、日本型の統合を考え出すことが緊急に必要である。そのために色々な研究者の**役割の明確化と連携**を考えなければならぬ。

研究開発における領域融合

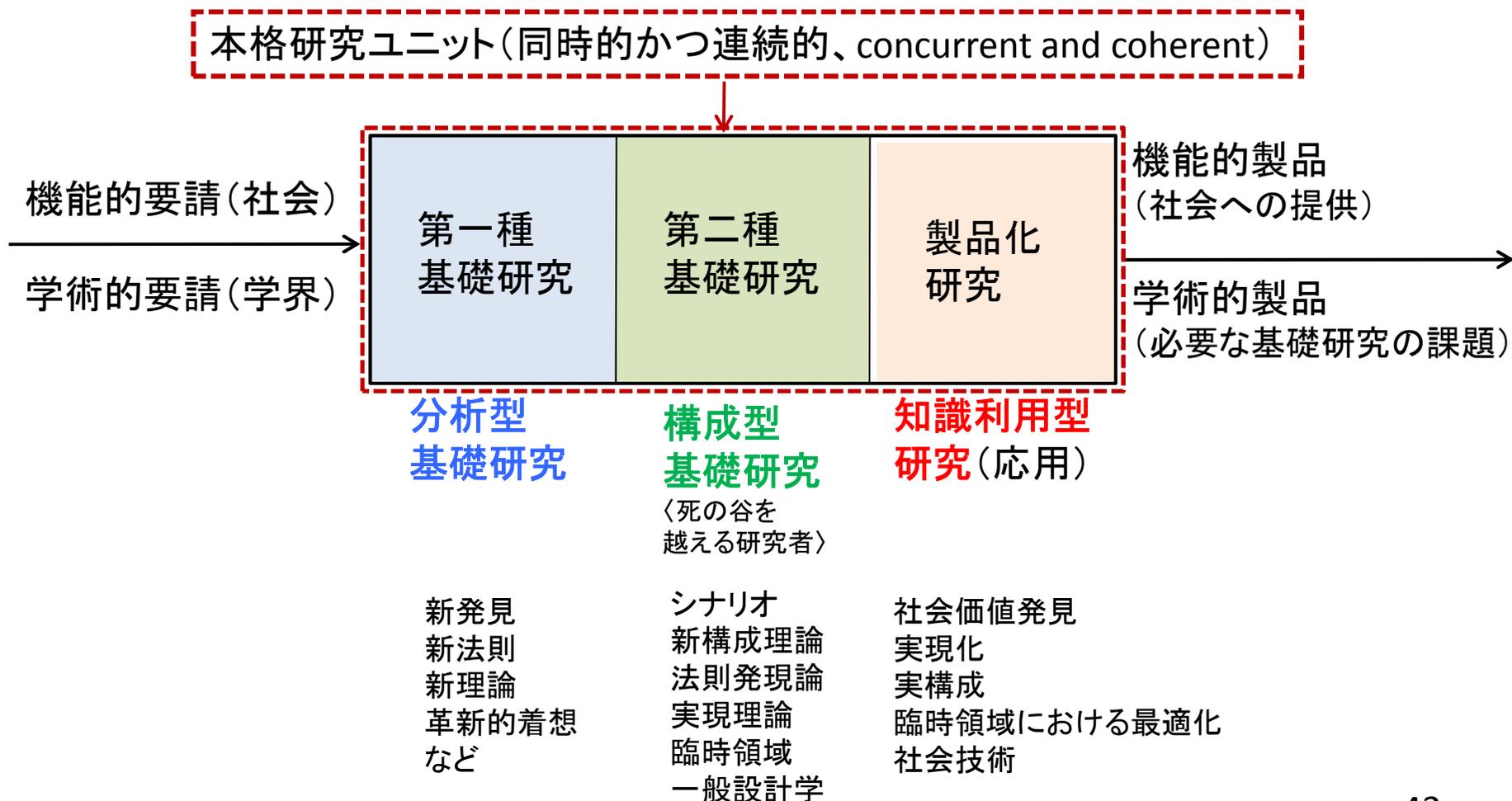
たとえば“応用可能な形態を持つ新物質創出”の場合（構成研究）

研究作業	作業に必要な領域
素材探索	物理学、化学、材料学、など
反応制御	物理学、化学、熱学、電磁気学、など
物質移動制御	機械工学、電磁気学、精密測定、制御工学、精密機器、など
生成環境制御	機械工学、流体力学、温度測定、制御工学、精密機器、など
計測・評価	計測科学、評価法、など
成形	精密加工学、表面工学

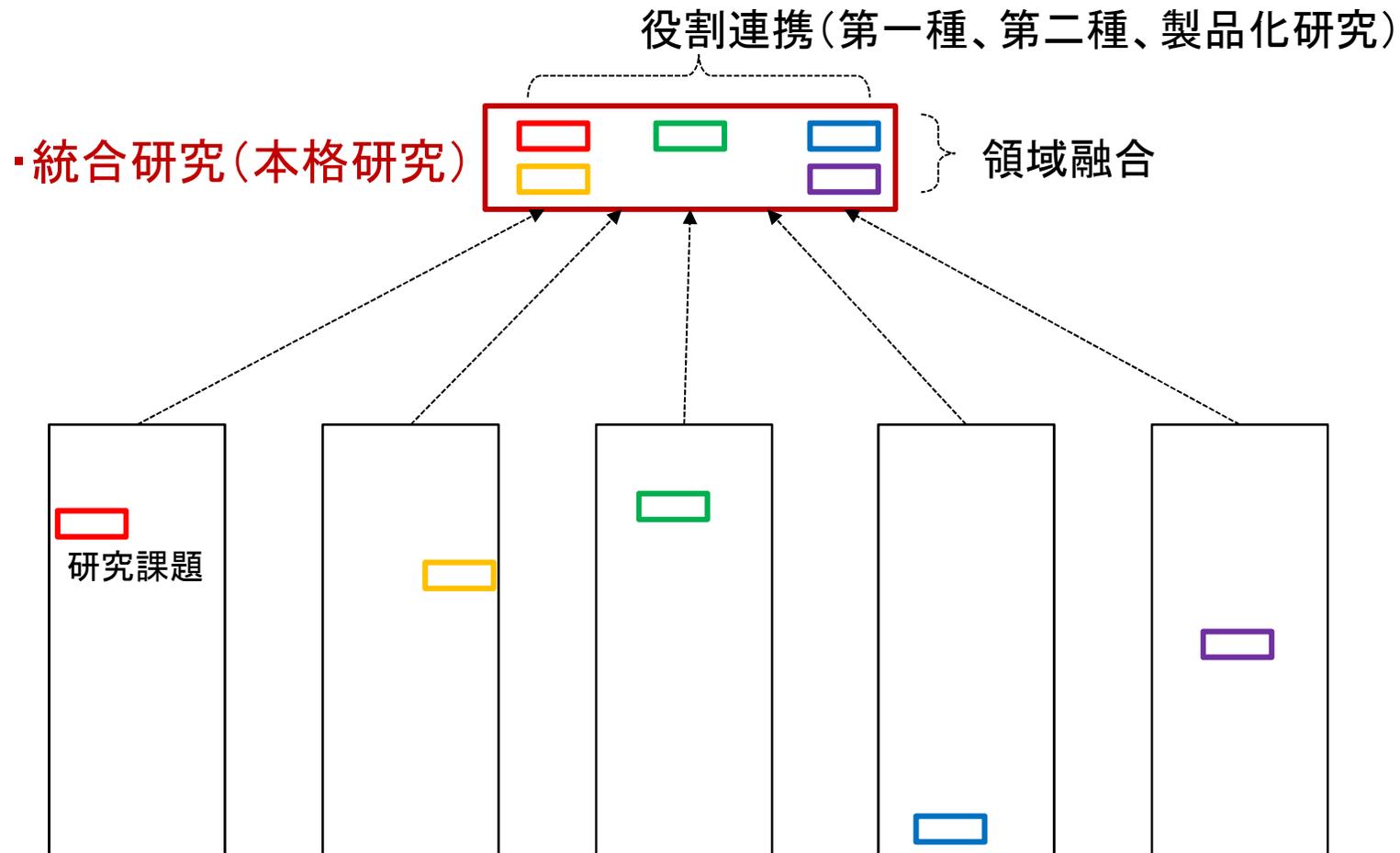
分析研究は、知りたい特性を定めれば、単一の（あるいは少数の）学問領域の使用によって行うことができるが、構成研究では一般に多くの（しかも予測できない）領域を使用しなければならないことが多い。そこでの研究は、異なる領域を同時に用いる領域融合が必要である。融合はシステム科学や設計科学を基礎として行うが、実用的方法が確立しておらず、課題ごとに考えなければならない。

本格研究(Full Research)

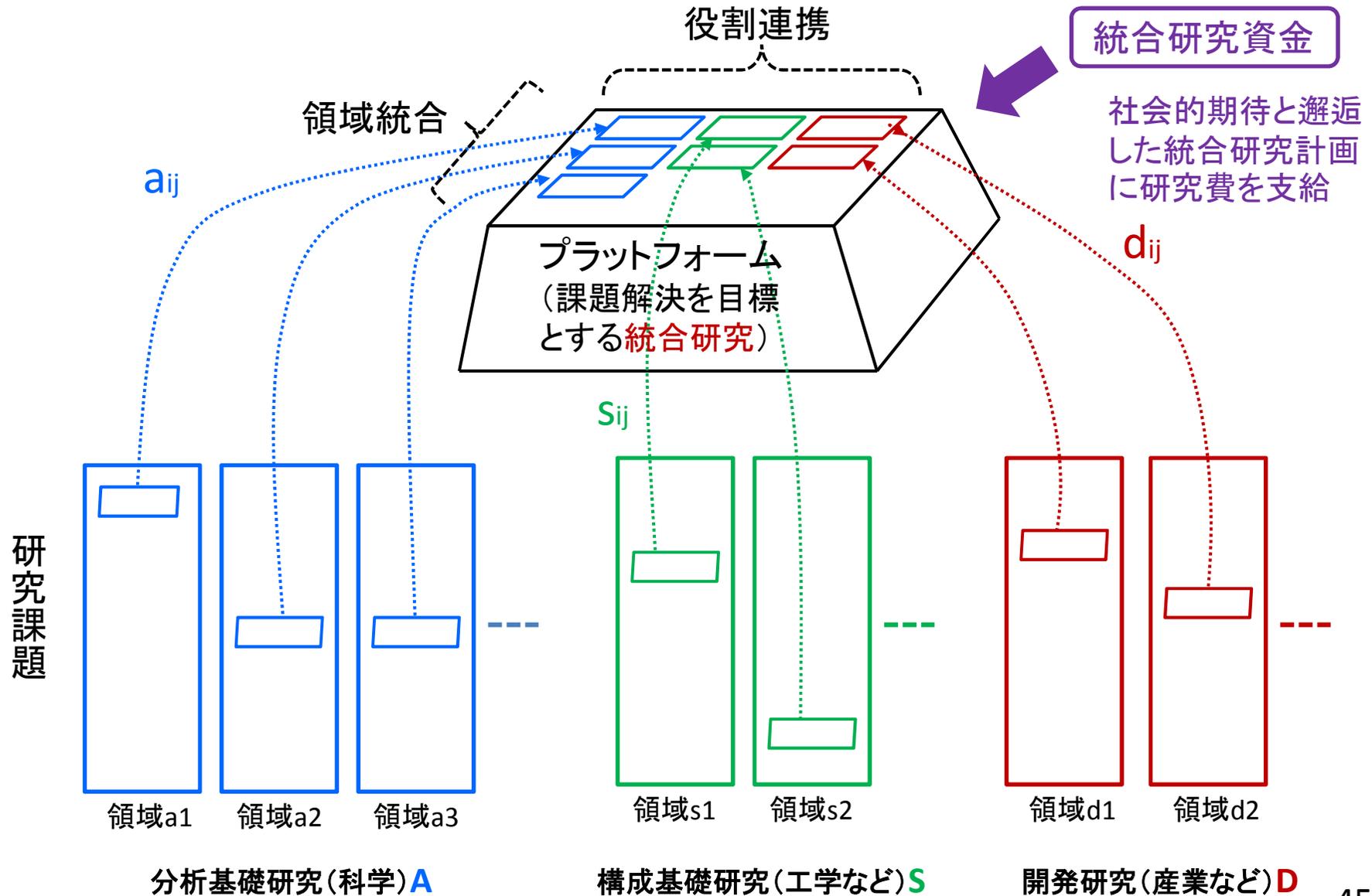
新しい基礎的知識に基づく新しい技術を生み出すイノベーションのための研究



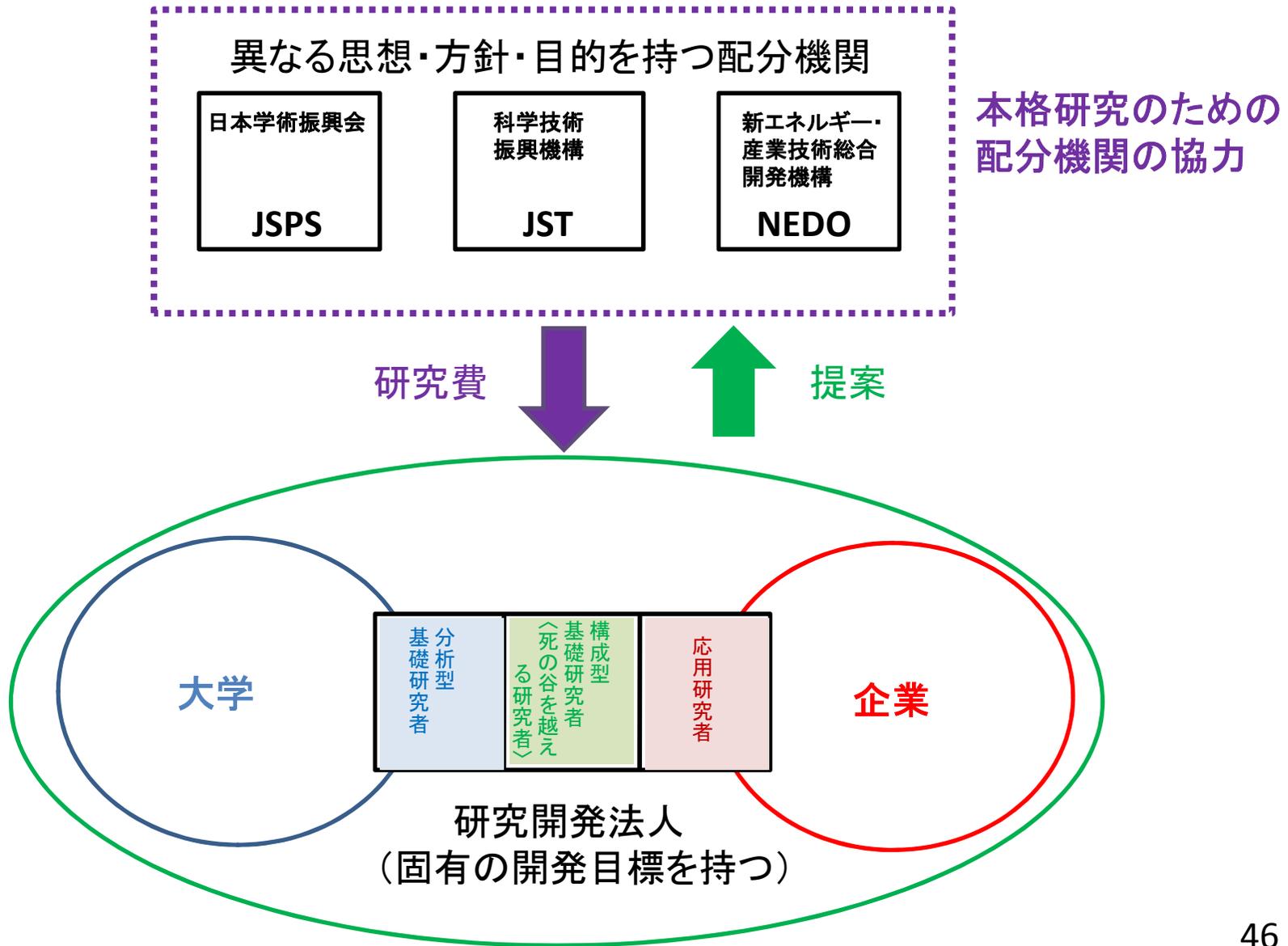
領域別研究課題の“融合×連携”による統合研究戦略



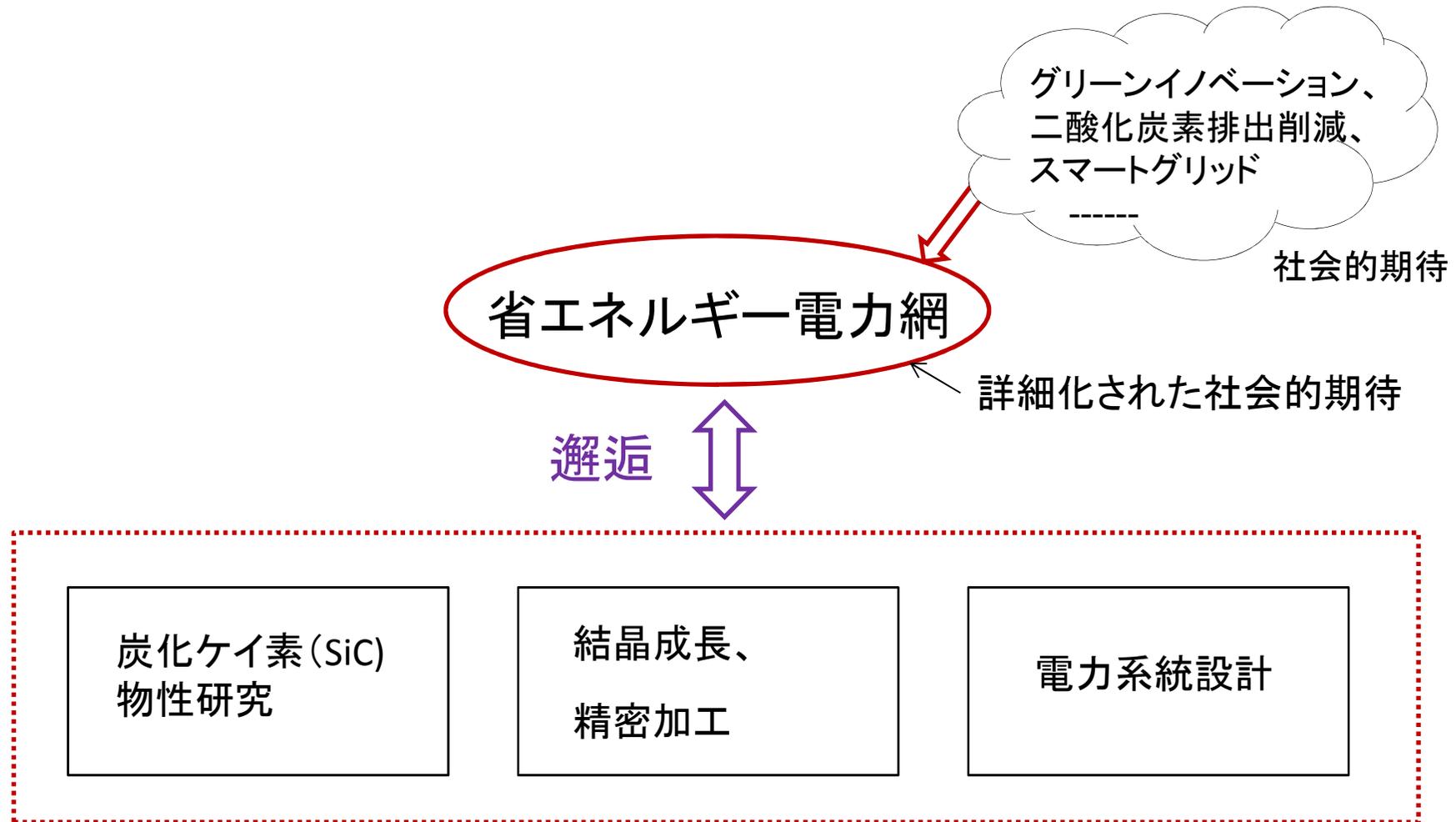
統合研究(本格研究)(領域統合 x 役割連携)



研究拠点への戦略的(本格的)研究費配分

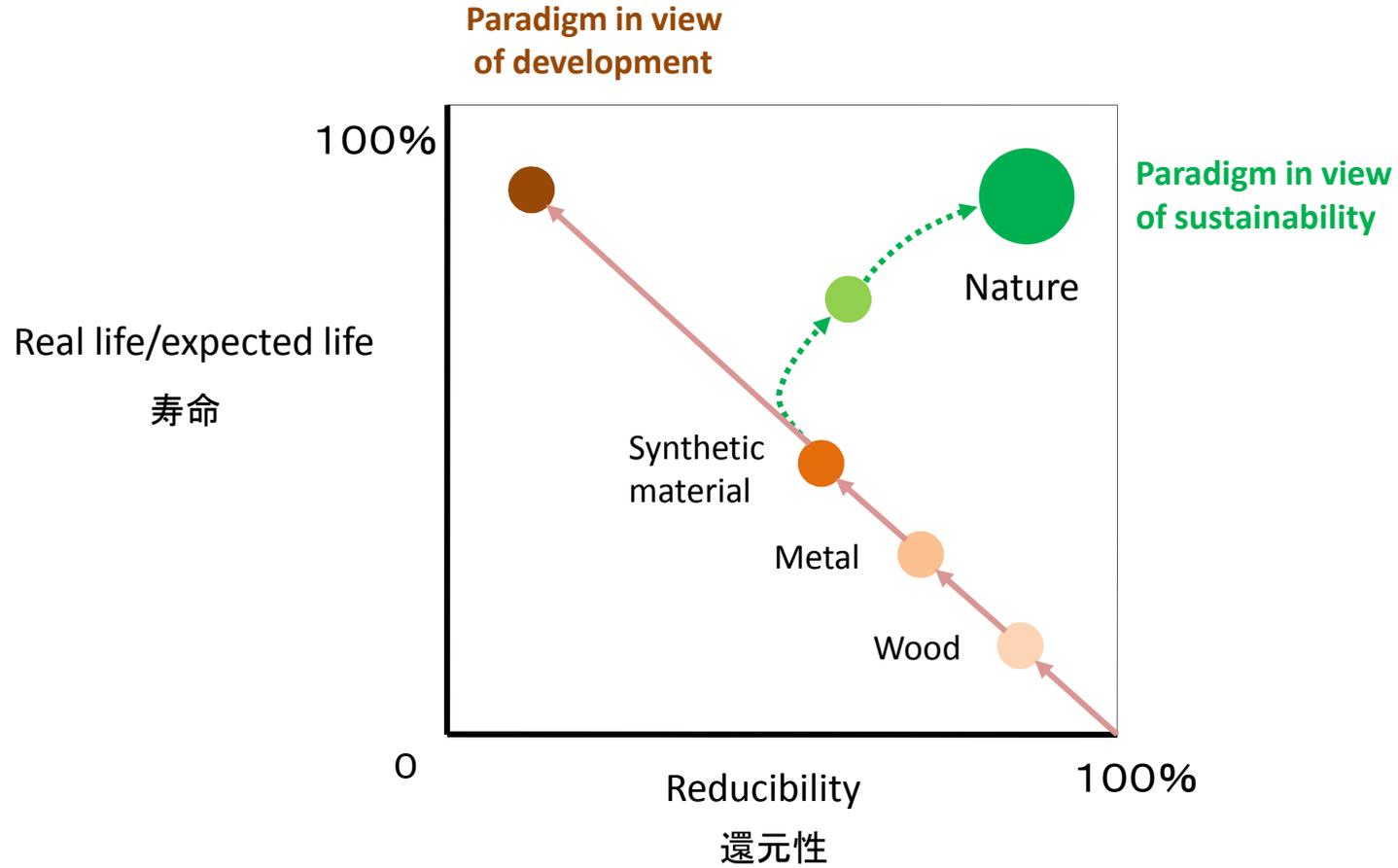


詳細化された社会的期待と本格研究との邂逅



機能的最小ネットワーク(NOEの要素である本格研究)

Paradigm Shift of Material

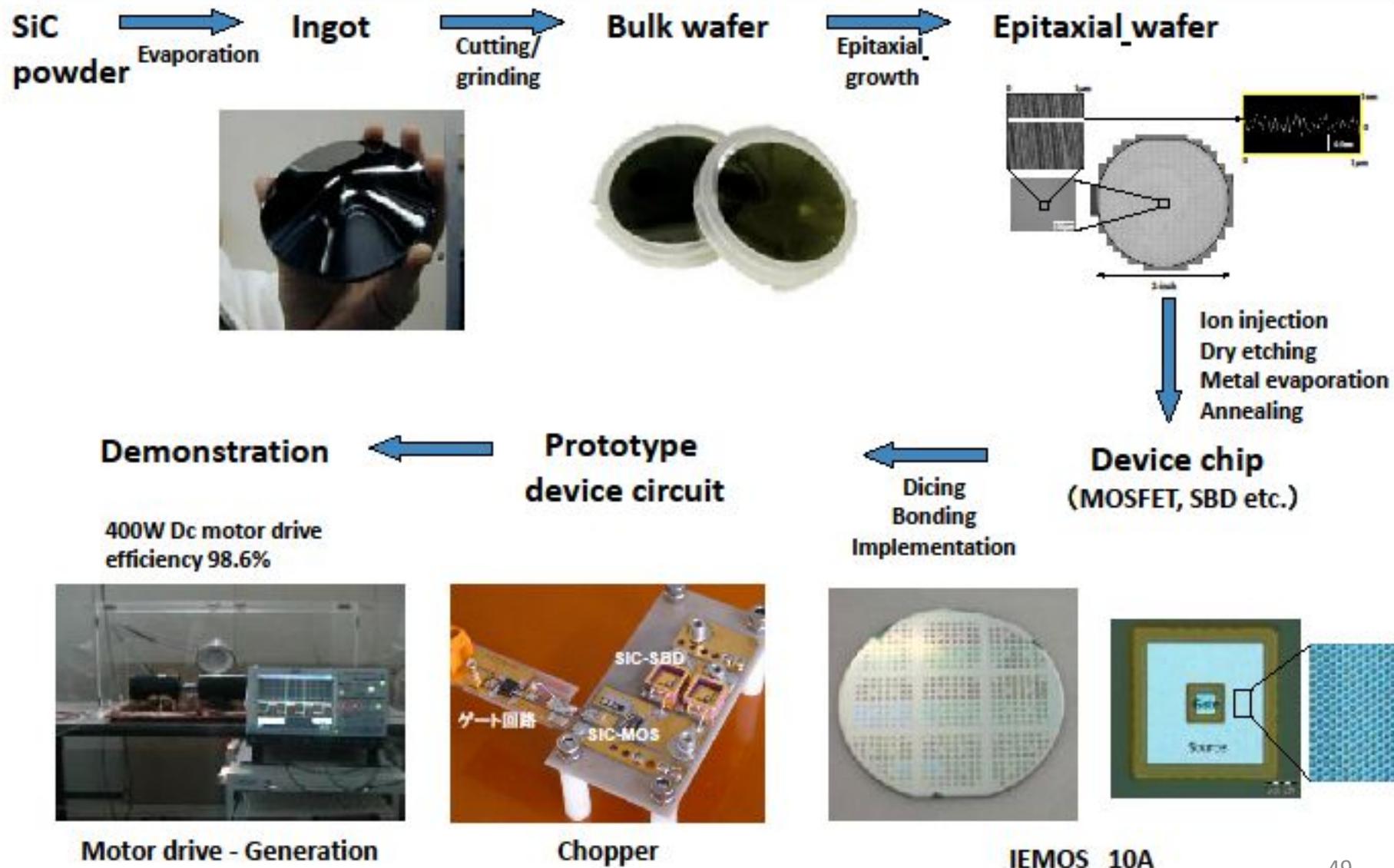


New Material: $\text{Max}(\text{Reuse} + \text{Soil/Material at life})$

Full Research in AIST: From Basic Research to Demonstration

Consistent RDD of SiC = High-tech Manufacturing

Energy Semiconductor Research Laboratory, AIST



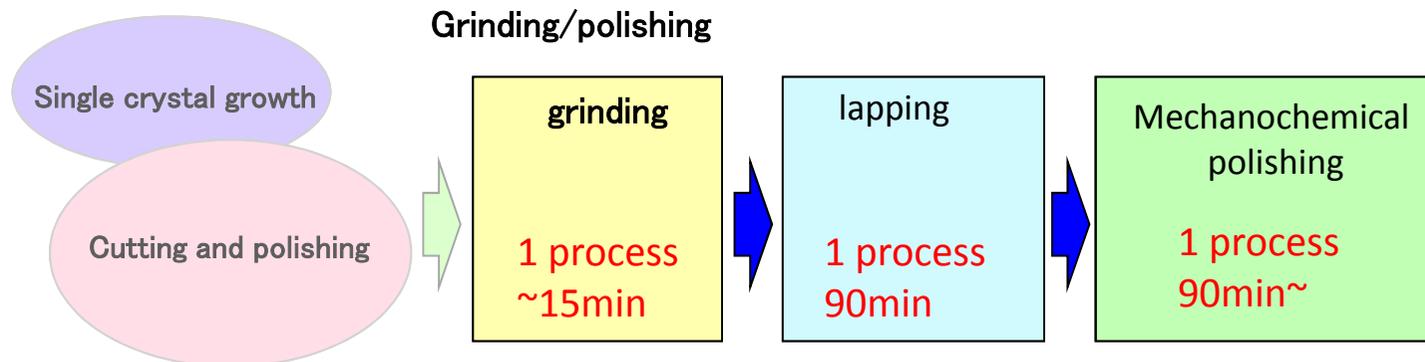
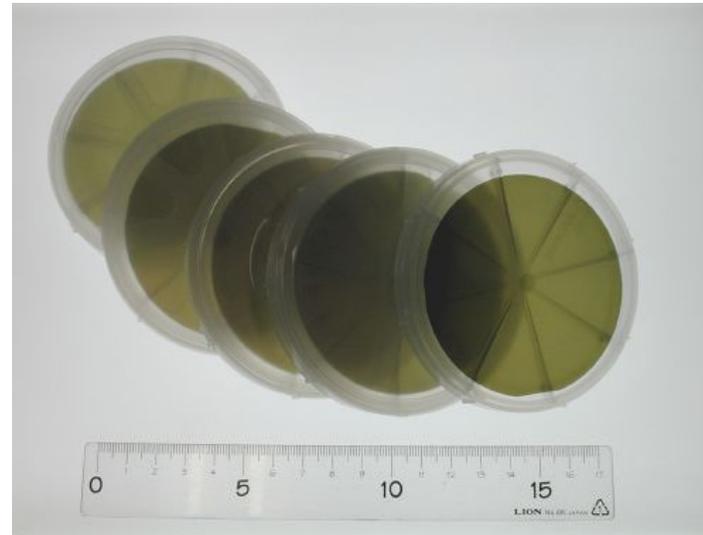
Single Crystal of SiC / Cutting and Polishing Process

4H-SiC single crystal



75mm single crystal

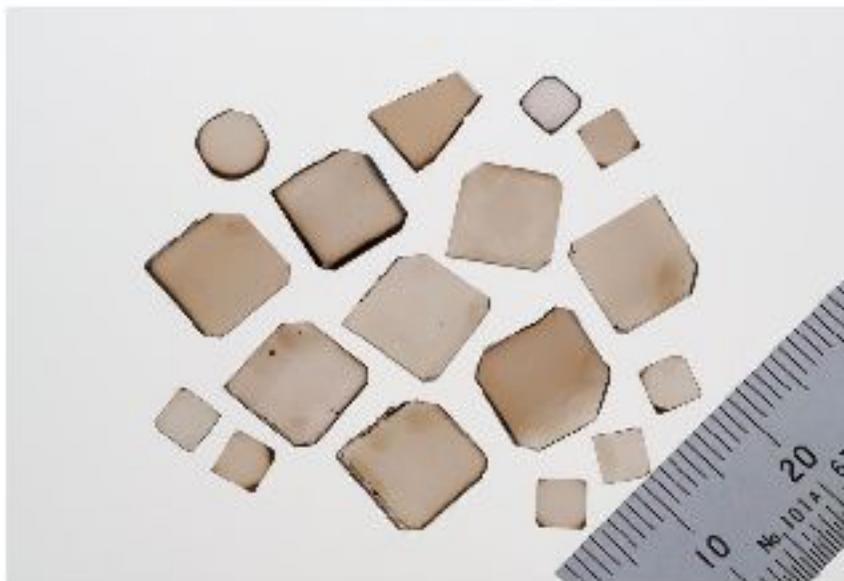
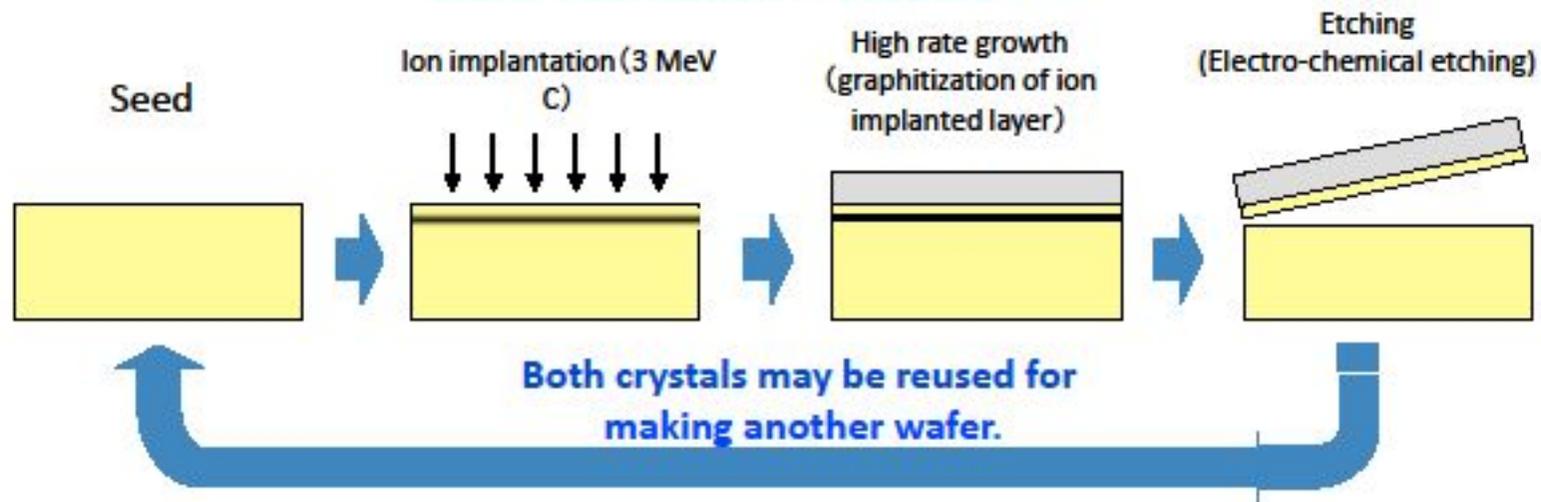
3 inches high quality 4H-SiC wafer



Diamond Wafer Fabrication Process

Fujimori Research Centre, AIST

Wafer Fabrication Procedure



10mmx10mmx0.5mm Wafers

Only one day for each. Our procedure is mass-productive applying high growth rate.



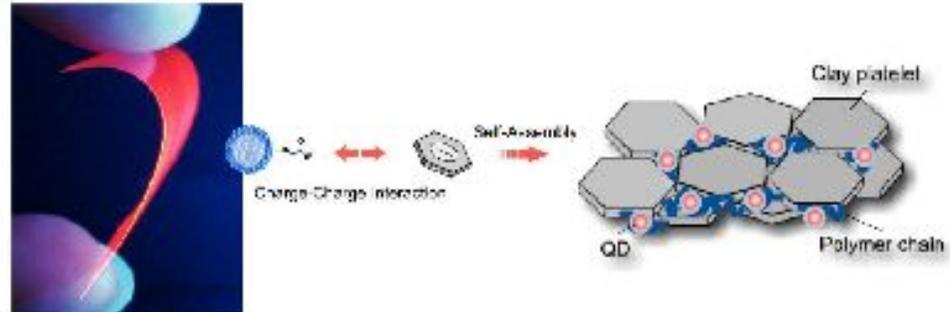
Our target is making 1 inch wafer!

New Applications of "CLAIST"

Ebina Group, Mizukami Research Centre, AIST



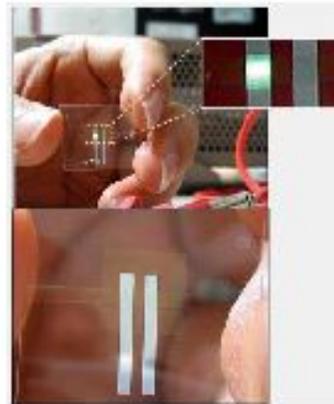
Roll film
40μm x 300mm x 50m



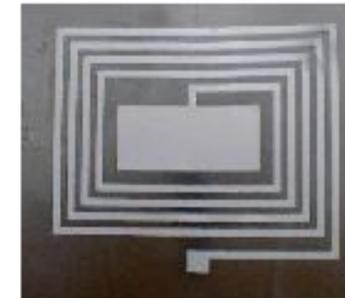
Inorganic electroluminescent device by quantum dot¹⁾



Flexible colour sensitive photovoltaic cell²⁾



Organic EL device³⁾



IC aerial by printing⁴⁾

1) *Nature* (Research Highlights), 454, 140, (2008), 2) H. Tetsuka *et. al*, *Nanotechnology* 18. 355701. 2007, 3) Pat.2007-242504「光電変換電極」, 4)Pat.2007-042694「フレキシブルプリント基板」

伝統的な基礎研究における研究動機 (領域内知的好奇心)

	内在因(研究者個人)	外在因(社会の要請、学界の関心)
全体的 (超領域)	知識の均衡(矛盾除去) 自己の概念体系の矛盾除去 領域結合理論 知識の可逆性 -----	社会の均衡(矛盾除去) 持続性と繁栄の両立 文化の共存 不平等の除去 -----
個別的 (領域内)	“知的好奇心” 新しい存在、現象の発見 存在・現象関係の新理論創出 領域内理論の不整合解決 -----	学界(学問領域)の問題解決 公知の課題 私秘的な課題 -----

研究の自治: 課題選択・研究実施・発表の自由

持続性時代の研究動機

(超領域的な社会の要請)

	内在因(研究者個人)	外在因(社会の要請、学界の関心)
全体的 (超領域)	知識の均衡(矛盾除去) 自己の概念体系の矛盾除去 領域結合理論 知識の可逆性 -----	社会の均衡(矛盾除去) 持続性と繁栄の両立 平和と安心の持続(災害・テロ対応) 文化の共存・不平等の除去 -----
個別的 (領域内)	“知的好奇心” 新しい存在、現象の発見 存在・現象関係の新理論創出 領域内理論の不整合解決 -----	学会(学問領域)の関心 公知の課題 私秘的な課題 -----

社会の中の科学