

異分野融合が行える環境は？

-- 質量分析開発を一例として --

(株)島津製作所 田中最先端研究所・質量分析研究所
シニアフェロー 田中耕一

「異分野融合が行える環境は？」

本日の内容

1. 質量分析MSとは？（前半）

2. 受賞技術説明 2002年ノーベル
化学賞は何に授与された？

3. 最先端研究開発支援プログラムとは？

4. 質量分析とは？ 異分野融合の成果

5. 独創性を育み、成果を活かすためには？

質量分析とは？① 何に貢献・役立っているか？

すなわち 縁の下の力持ち・裏方の仕事 をしている

医学・薬学・ライフサイエンス

疾病診断、臨床、法医学、麻薬捜査、ドーピング、毒物検知、遺伝子解析、タンパク質解析、糖鎖解析、代謝解析、薬物動態・合成反応の最適化・薬効・安全性、天然物分析、等々

化学合成品・工業・新素材

プラスチック等製品検査、金属・無機物・半導体分析、香料分析、ナノテク素材分析、添加物・不純物・触媒・合成品確認、工程等モニタリング、等々

環境分析

大気・水・土壌・室内汚染物質分析、環境ホルモン分析、等々

その他

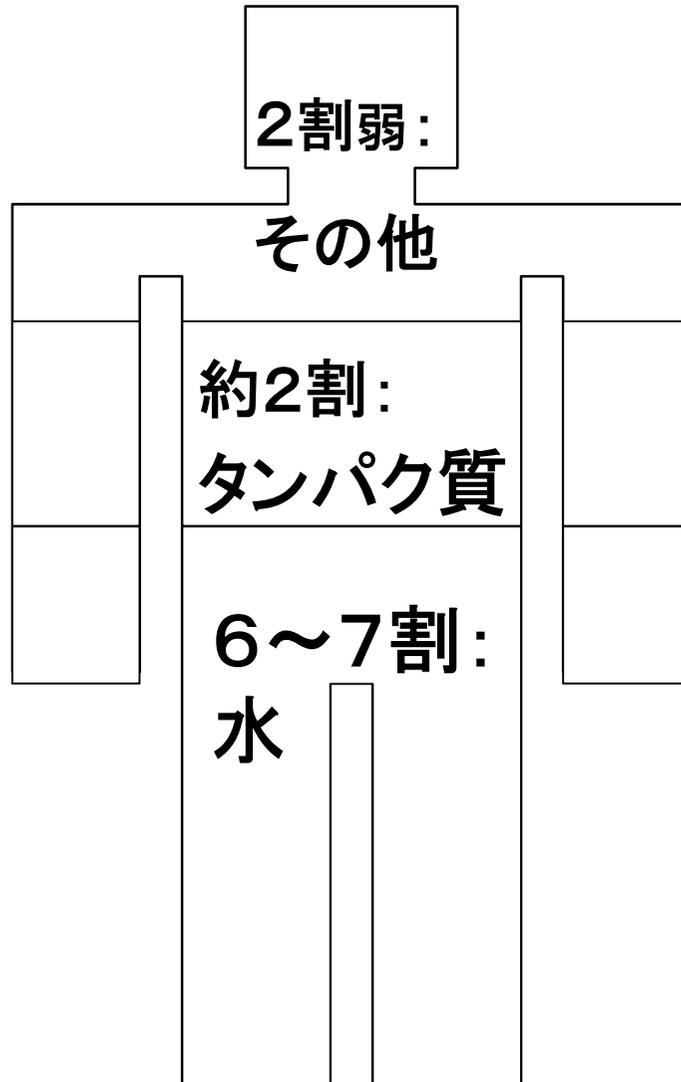
火星探査車”キュリオシティ”にも搭載
<http://ssed.gsfc.nasa.gov/sam/samiam.html>

年代測定、地球外生命探索、等々

“はやぶさ”が持ち帰った微粒子の分析も

質量分析とは？③ なぜ質量分析が必要か？

人間(ヒト)の体は？



タンパク質は極めて重要！

「量が多いから重要」とは必ずしも言えないが、...

Q. がん等の病気になると？

A. 今までに無かったタンパク質が作られたり量が増えたり減ったりする（場合が良く見受けられる）

それを**量**ることにより

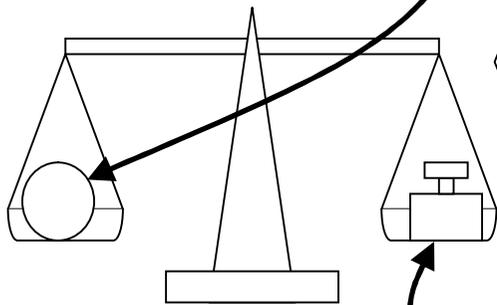
病気の早期診断・新薬の開発等が行える（可能性が高い）

例：[医学]疾患マーカー、[薬学]薬物動態

質量分析とは？④ 質量分析⇔天秤量り

Q. 通常 **未知の物** の”重さ”を量る場合は？

A. 例：天秤量り



量りたい物と**分銅**が釣合う

Q. 質量分析とは？

A. 分子(原子)の重さを量る

分子は非常に小さい

分銅で釣合わせる方法は非現実的

分子を **1** イオン化 し、イオンを **2** 分離 ・ **3** 検出 し **4** 測定 する



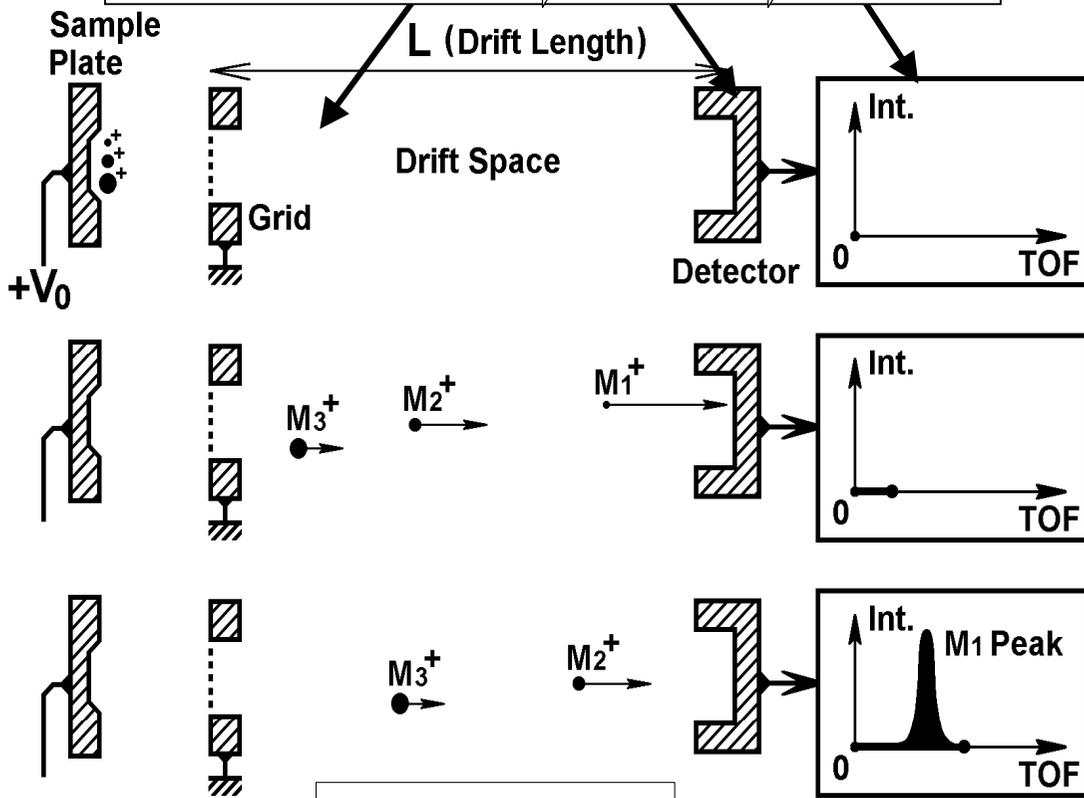
まず **1** イオン を作らなければならない

2. ノーベル賞受賞技術説明 で紹介

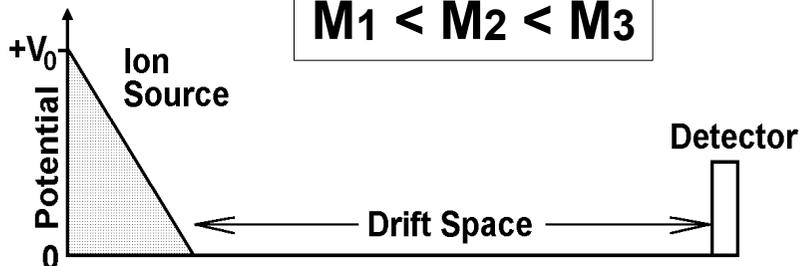
質量分析とは？⑤ 飛行時間型質量分析TOFMSとは？

Time Of Flight Mass Spectrometry

TOFMSで 2分離 → 3検出 → 4測定



M₁ < M₂ < M₃



エネルギー保存の法則

位置と運動エネルギー

$$qV_0 = \frac{1}{2}Mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2V_0q}{M}}$$

$$\therefore \text{ToF} = \frac{L}{v} = L \cdot \sqrt{\frac{M}{2qV_0}}$$

q: イオン電荷 M: イオン質量
v: イオン速度 V₀: 電位差

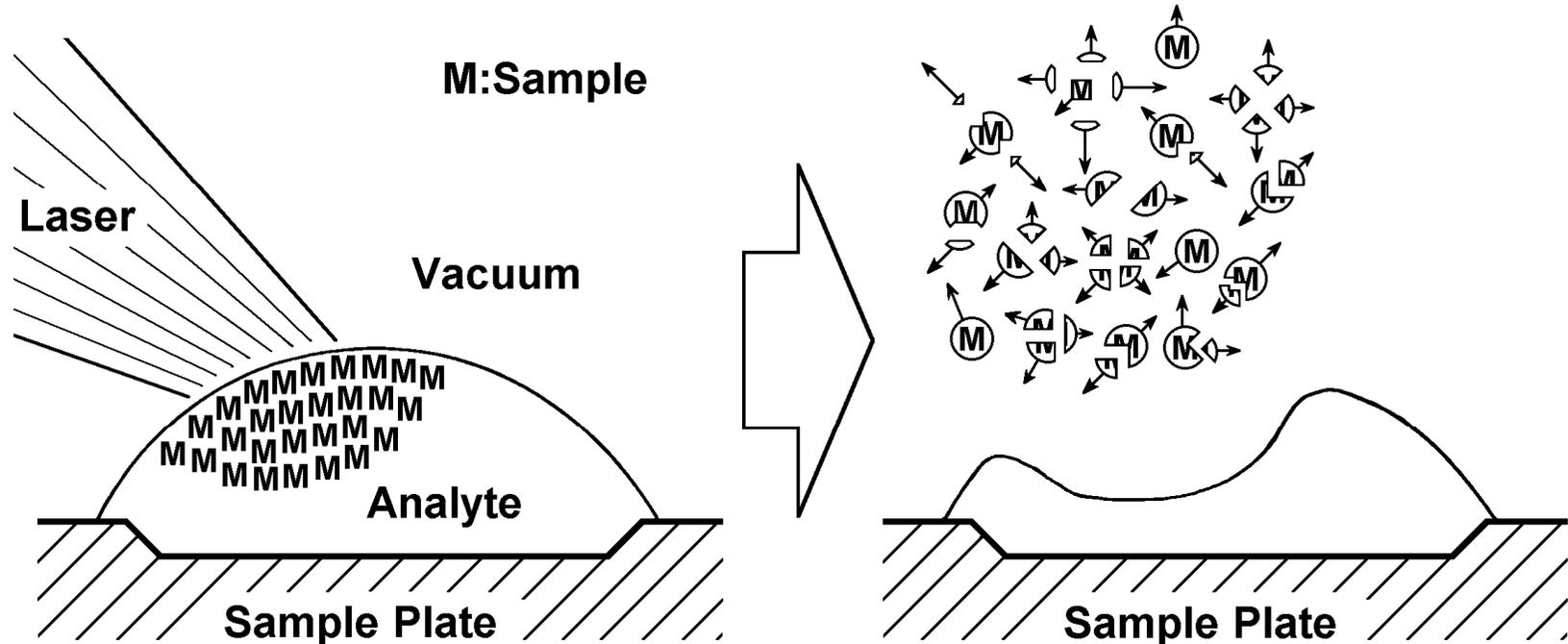
高校の
物理
で学ぶ

小さいイオンは速度が速く、早く検出器に届く

★ 分かり易く例えると: 坂道を転げ落ちる玉

受賞技術説明① 固体(液体)からのレーザー脱離イオン化

1980年代前半までのレーザーによるイオン化方法



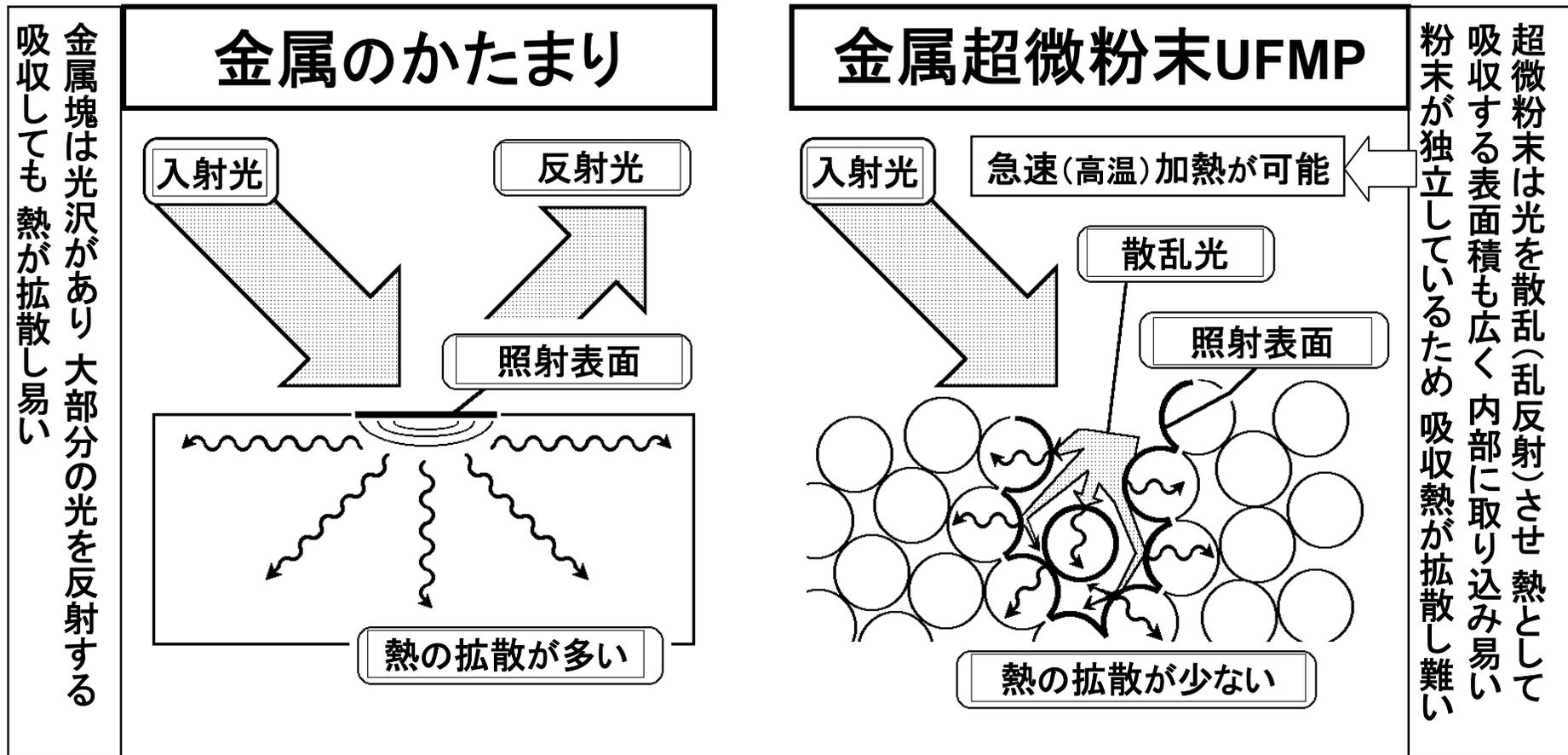
★ 身近な例: 蛋白質でできた卵・肉を(ゆっくり)加熱する → 黒く焦げて変質する

当時の化学の常識: 「分子量1万を超えるタンパク質のような化合物のイオン化は不可能」

実は1970年代からレーザーでシミ・アザを消す治療が...

★ 分かり易く言えば: レーザ光を吸収し瞬時に気化する

受賞技術説明③ 金属塊(かたまり)と 金属超微粉末の違い



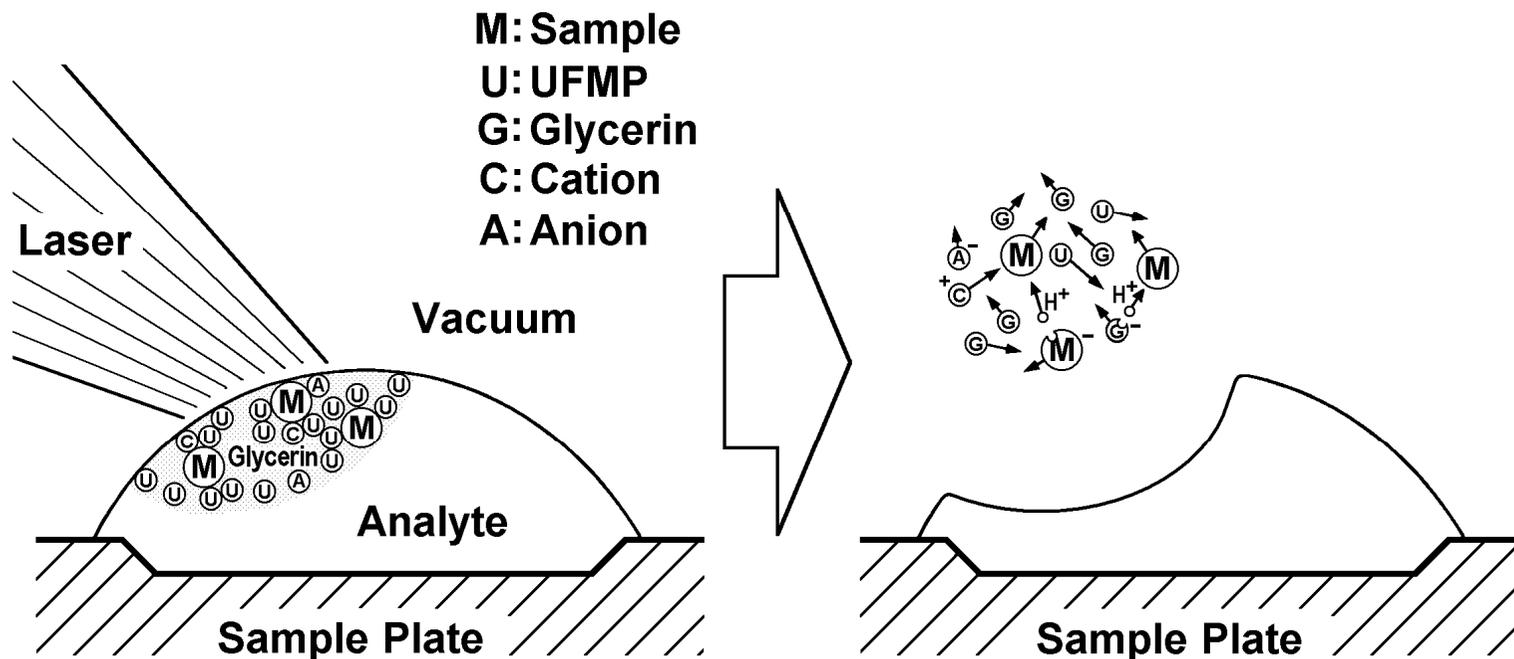
金属超微粉末(ナノテク): 当時 Japanese Powderと呼ばれていた

合金用材料を化学(イオン化): 異分野に活用

受賞技術説明⑤ ソフトレーザ脱離法でタンパク質イオン化成功！

ソフトレーザ脱離(イオン化)法: 分解させずに(間接的に)化合物を飛び出させる

★ 分かり易く言えば: 強いレーザ光照射の直接衝撃を和らげる**クッション**を用いて脱離



グリセリン/金属超微粉末混合溶媒を用いた ソフトレーザ脱離イオン化法 (Soft Laser Desorption)

ノーベル賞を受賞した技術

受賞技術説明⑧ 田中東北大学卒業論文アンテナ工学研究

東北大学電気工学科

昭和58年度電子通信学会総合全国大会

802

半無限損失性媒質中のインピーダンス負荷
ダイポールアレイによる平面波の散乱

益子 拓 徳 安達 三郎 田中 耕一
(東北大学工学部)

1. はじめに 以前、筆者らは、損失性媒質上に、インピーダンスを装荷した半波長ダイポールアンテナによって構成される無限平面アレイを置いた系による平面波の散乱について解析し、このアレイが媒質表面による反射波を大幅に低減する効果のあることを報告した¹⁾。本報告では、上記の様なアレイを損失性媒質中に埋め込んだ場合について検討し、同様に反射波を低減する効果があることを示す。

2. 理論 図1(a),(b)に本報告で取り扱う無限平面アレイとその座標系を示した。これらの図で $z \leq 0$ の領域は、電質数 $\mu_0, \epsilon_0, \epsilon_0(\epsilon_g - j\sigma/\omega\epsilon_0)$ の損失性媒質で一杯に満たされており、アレイは媒質表面下に埋め込まれている。このアレイを構成しているアンテナは、 δ 関数状の負荷インピーダンス Z_n が装荷されており、 x, y 方向にそれぞれ、間隔 a, b で格子状に配列されている。今、この様な系に、図1(a)に示した様な平面波が正角 θ に対して θ の角度を成して入射したとする。この時、 (m, n) 番目のアンテナ上に誘起される電流を I_{mn} によって規定する。

$$\begin{cases} I_{mn}(x, y) = \frac{I_{00}}{d} \frac{e^{j(k_x a m + k_y b n)} \sin[k_x(L - |x - ma|)]}{\sin(k_x L)} U_{mn}(x, y) \\ U_{mn}(x, y) = [U(x - ma + L) - U(x + am - L)] [U(y - nb + d/2) - U(y + nb - d/2)] \\ U(z) = \begin{cases} 0; z < 0 \\ 1; z \geq 0 \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 k_x は損失性媒質中の伝播定数であり、 I_{00} はアンテナ $(0, 0)$ の給電点電流である。この I_{00} はアンテナ $(0, 0)$ の給電点開放電圧 V_0 と入インピーダンス Z_1 を用いて、 $I_{00} = V_0 / (Z_1 + Z_0)$ より求められる。アレイ面電流 $J(x, y) = \sum_{mn} I_{mn} \delta(x - ma) \delta(y - nb)$ は、 x, y 方向にそれぞれ、周期 a, b の周期関数であるから、Floquet の定理より、これは次の様な等価面電流 $K(x, y)$ によって置き換えられる。

$$\begin{cases} K(x, y) = \sum_{\beta_1, \beta_2} A_{\beta_1, \beta_2} e^{j\beta_1 x} e^{j\beta_2 y} \\ A_{\beta_1, \beta_2} = \frac{2 I_{00} k_x [\cos(k_x L) - \cos(\beta_1 L)] \sin(d\beta_2/2)}{ab \sin(k_x L) (\alpha_1^2 - \beta_1^2)} \frac{d\beta_2}{2} \end{cases} \quad (2)$$

この式で、 $\alpha_1 = k_0 \sin \theta + 2\pi p/a$, $\beta_2 = 2\pi q/b$ である。この面電流によって誘起されるヘルムホルツ方程式は Z 成分 $\nabla_z^2 Z = 0$ の二成分を持ち、図1(a)の領域(0), (1), (2)で次の波動方程式の解として与えられる。

$$(\nabla^2 + k_g^2) \Pi_i = 0 \quad (3)$$

ここで、 i は領域の番号を示し、 i は領域(0) $z > 0$, (1), (2) で $z \leq 0$ になる。この方程式の解は、媒質表面

$$\begin{cases} \Pi_{0z} = \frac{-\omega\mu_0}{k_0} \sum_{\beta_1, \beta_2} A_{\beta_1, \beta_2} e^{j\beta_1 x} e^{j\beta_2 y} e^{-j\beta_1 z} \frac{e^{-j\beta_2 h}}{\beta_2 + j\beta_2'} \quad (5) \\ \Pi_{1z} = \frac{-\omega\mu_0(\epsilon_g - j\sigma/\omega\epsilon_0)}{k_0} \sum_{\beta_1, \beta_2} A_{\beta_1, \beta_2} e^{j\beta_1 x} e^{j\beta_2 y} e^{-j\beta_1 z} \frac{\alpha_1 e^{-j\beta_2 h}}{(\beta_2 + j\beta_2')(\epsilon_g \beta_2 + j\sigma/\omega\epsilon_0)} \end{cases}$$

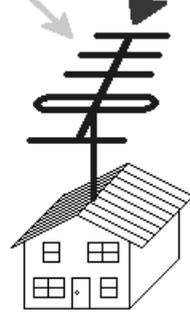
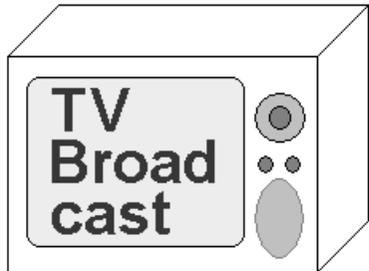
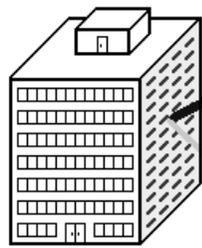
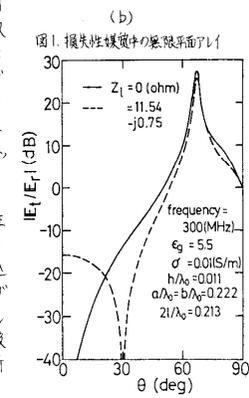
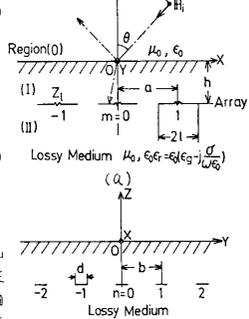
これらの式で、 $\beta_2' = (k_0^2 - \alpha_1^2 - \beta_2^2)^{1/2}$; $j\sigma/\omega\epsilon_0 \leq 0$, $\beta_2' = (k_0^2 - \alpha_1^2 - \beta_2^2)^{1/2}$; $j\sigma/\omega\epsilon_0 > 0$ である。このヘルムホルツよりアレイからの再放射電界 E_a は次式によって与えられる。

$$E_a = (\nabla \nabla + k_0^2) \Pi_0 \quad (6)$$

領域(0)での全散乱電界 E_s は、この E_a に媒質表面からの反射電界 E_r を加えて求められる。即ち $E_t = E_a + E_r \quad (7)$ である。

3. 数値例 図2に媒質をコンクリートとした場合の全散乱電界の入射角依存性を示した。図の横軸は、媒質表面の反射波で規格化した全散乱電界である。また λ_0 は自由空間波長である。図から分かる様に、入射角があまり大きくない場合は、反射波が抑制されている。

4. まとめ 損失性媒質で満たされた半無限空間中に埋め込まれた、インピーダンス負荷ダイポールアレイによる平面波の散乱について解析し、この様なアレイ



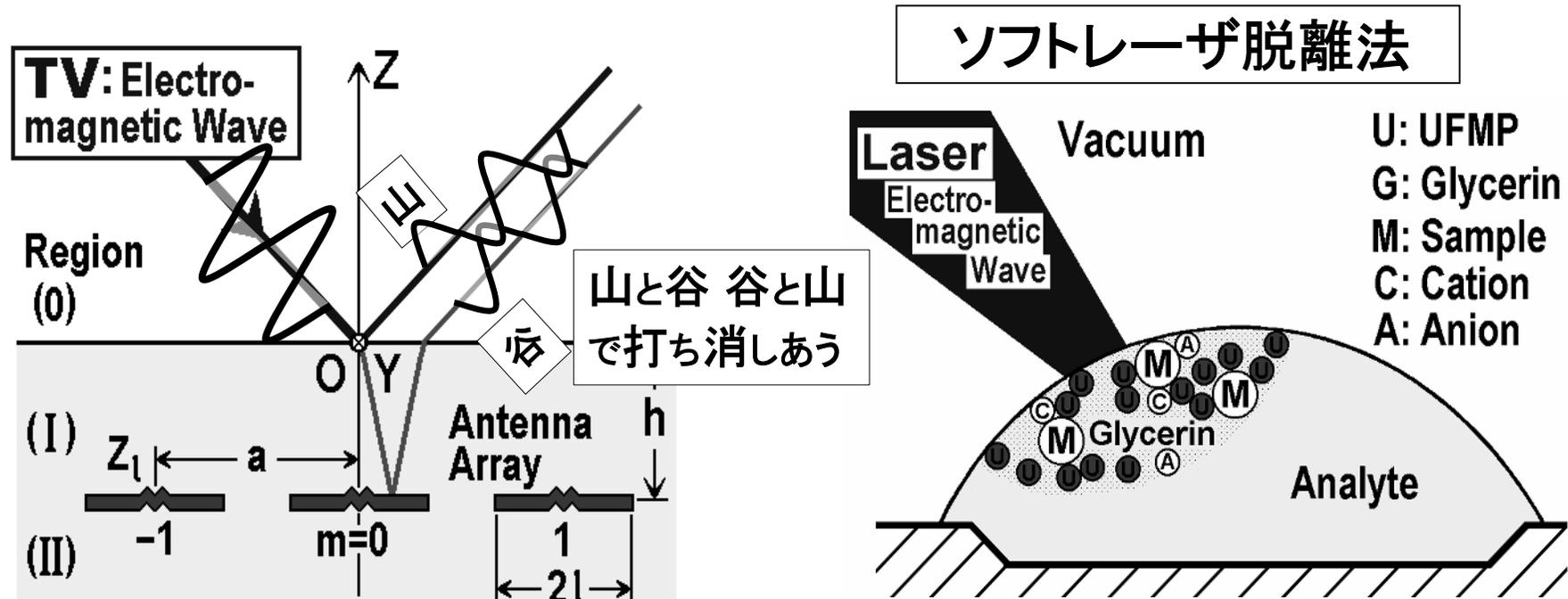
「八木・宇田
アンテナ」
東北大 電気の
世界的発明

ビル壁面から跳ね返ってくる 不要な
電波を消去・吸収する手法

受賞技術説明⑨ 電気工学と化学発明の意外な関係？

(高校の教科書にも良く使われる) 模式図が 分野を超えた斬新な発想に役立つ

電子情報通信学会 2007年9月号「対談－アンテナを張る－」参照 <http://www.ieice.org/jpn/books/kaishikiji/index.html>



コンクリートにアンテナ(金属棒)を並べ 電磁波吸収

グリセリンに金属超微粉末UFMPを混ぜ レーザ(電磁波)吸収

全く異分野の基礎知識・経験・発想を発明に活かした！

3. 「**最先端** 研究開発支援FIRSTプログラム」とは？

Funding Program for World-Leading Innovative R&D on Science and Technology

世界の**トップ**を目指した**先端的研究**を推進し、日本の**国際競争力強化**と**研究成果の社会還元**を図ることを目的として、平成21年度補正予算において**国が創設**。 <http://www.jst.go.jp/first/>

<研究課題名> **次世代質量分析システム開発と創薬・**



診断への貢献**** <<http://www.first-ms3d.jp/>>

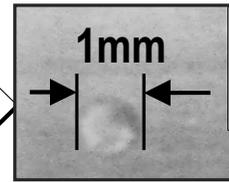
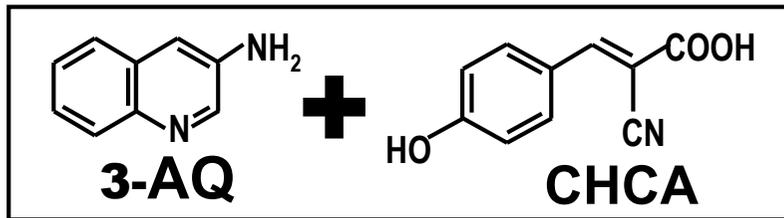
mass **S**pectrometer for **d**rug **d**iscovery and **d**iagnos**t**ics

-- **血液一滴から 様々な病気の診断と創薬・治療の手がかりを得るために** --

**若手研究者・
技術者が活躍中！**

本プロジェクトの隠れた目的 若手の可能性を引き出す

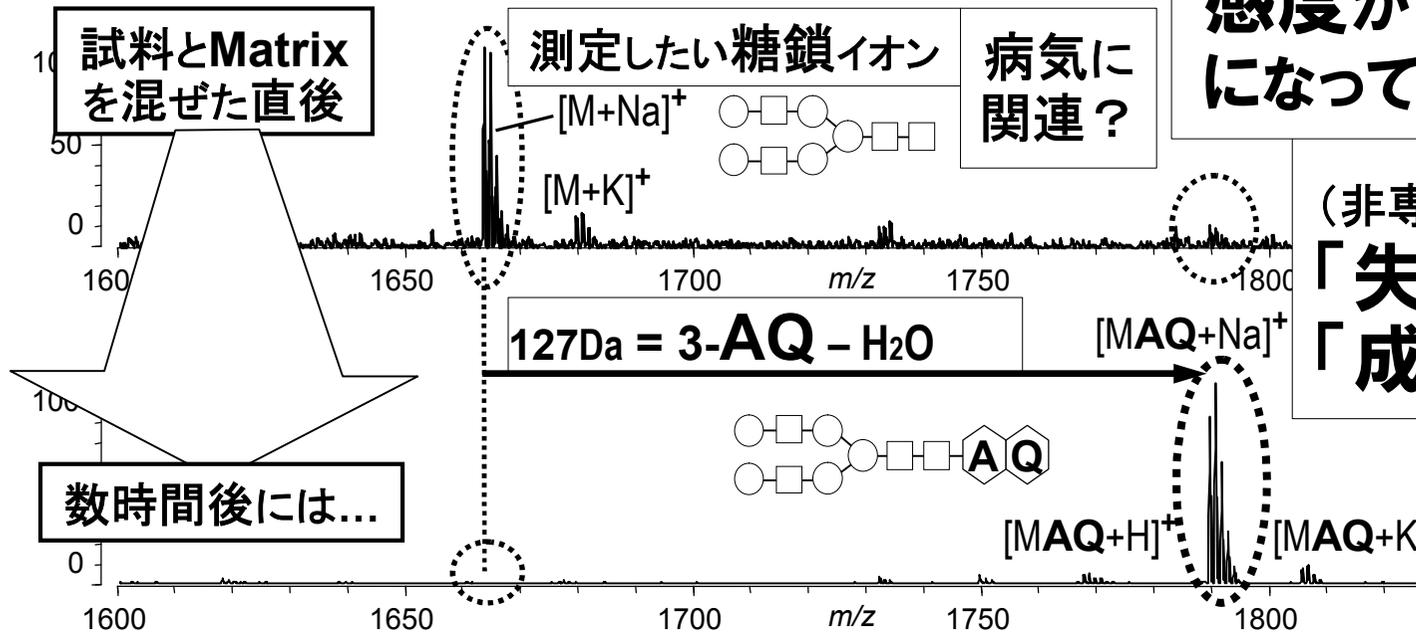
<http://www.first-ms3d.jp/topics/researches>



液状になる

イオン化支援Matrix: 3-AQ/CHCA (イオン液体)

化学反応の場合: 失敗を作ってしまった! が感度が500~1万倍になってしまった!



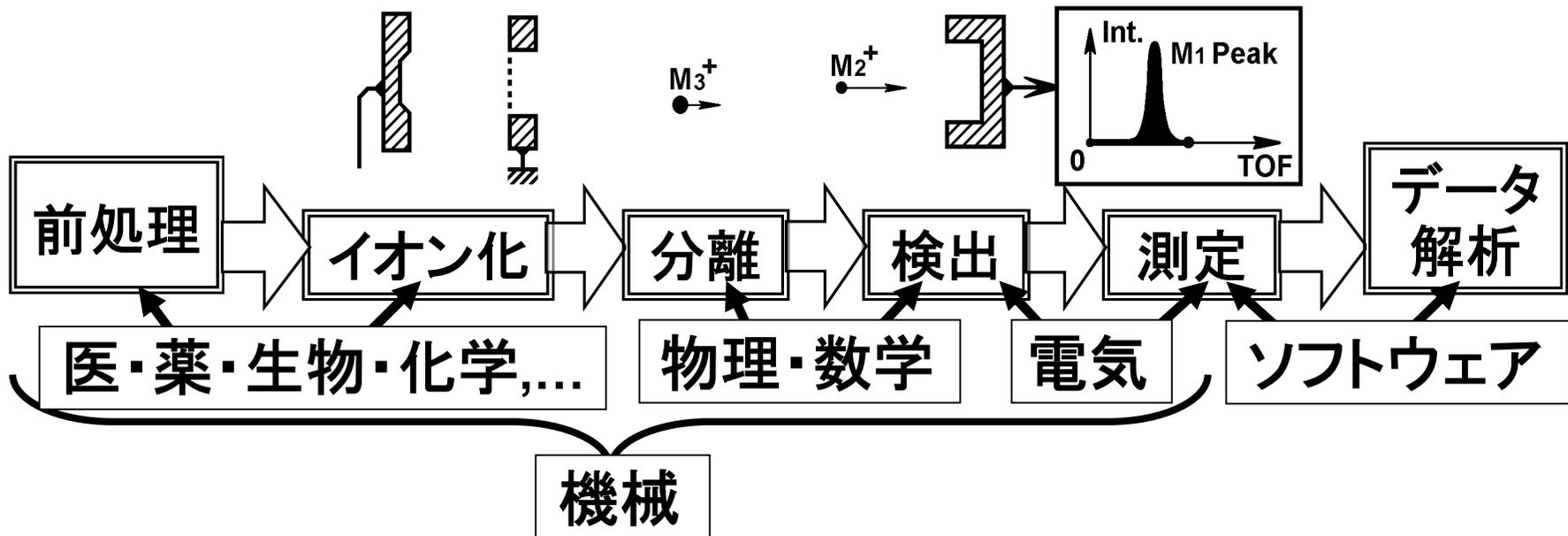
(非専門家の) 若手は、「失敗・欠点」を「成功・利点」に!

素人だからこそできる発見・発想

~30年前の田中の発明も、失敗を新発見に....

(これからの)先人の役割: 若手が挑戦し 失敗を乗り越え 伸びられる「場」を作ること

質量分析とは？⑧ 必要な学問分野は？



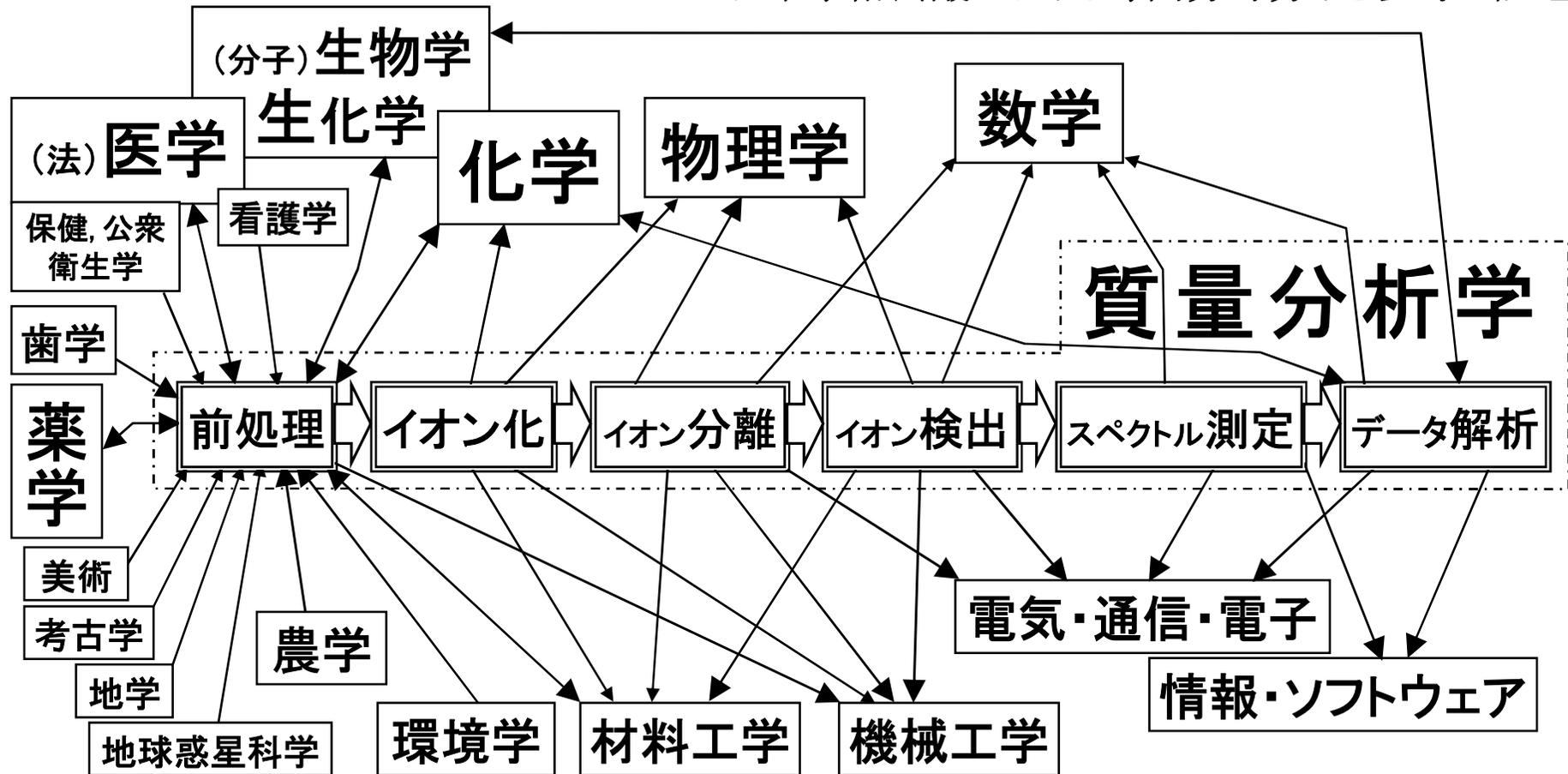
分析(計測)装置は 異分野融合の成果が生きている

産業界・大学・公官庁の協働が不可欠

「横の」チームワークと独創性は両立できる

質量分析とは？⑨ 必要な学問分野は？ 全体図

日本学術会議における専門分野分けを参考に記述



質量分析学と主な学術の関係

自然科学の大部分を網羅し 人文・社会科学とも関連する

異分野融合は分析計測装置だけ？

日本の常識：**チーム**ワークは**独創**を阻害する**！？**

チームといってまず思い起こすのは、...

同じ分野の仲良しクラブ、**K**空気を**Y**読み合う間柄？

日本が得意な**ものづくり製造業**：自動車・ロボット・家電・
デジカメ・鉄道・航空機等は、**異分野融合**の成果が活
きている **もっと活かせるのでは？！**

例：自動車は... ガソリン・エンジン・電気回路・ソフト・
乗り心地・カッコよさ・...

総合大学 特に工学部も **異分野融合の可能性大**

異分野の人々が集まり、**異なる意見**を侃々諤々 **討論**する**チーム**

異分野チームワークから生まれる**独創**が **日本を...**

異文明を受け入れ **新たな文化**を**創造**してきたのは **日本の伝統**

理系：自然科学(・技術)とは？ 社会・人文科学

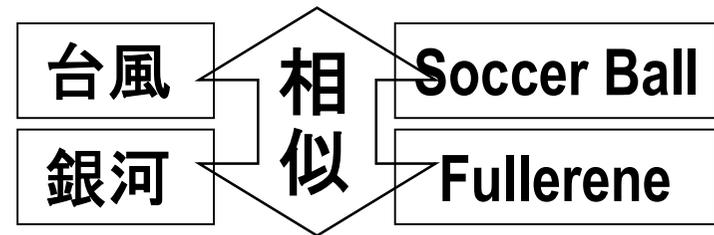
人類が思考するよりも前から存在した
「自然の摂理」を解明し利用する



異分野融合、
境界領域を開拓すれば

社会・人文科学
との(文理)融合も...

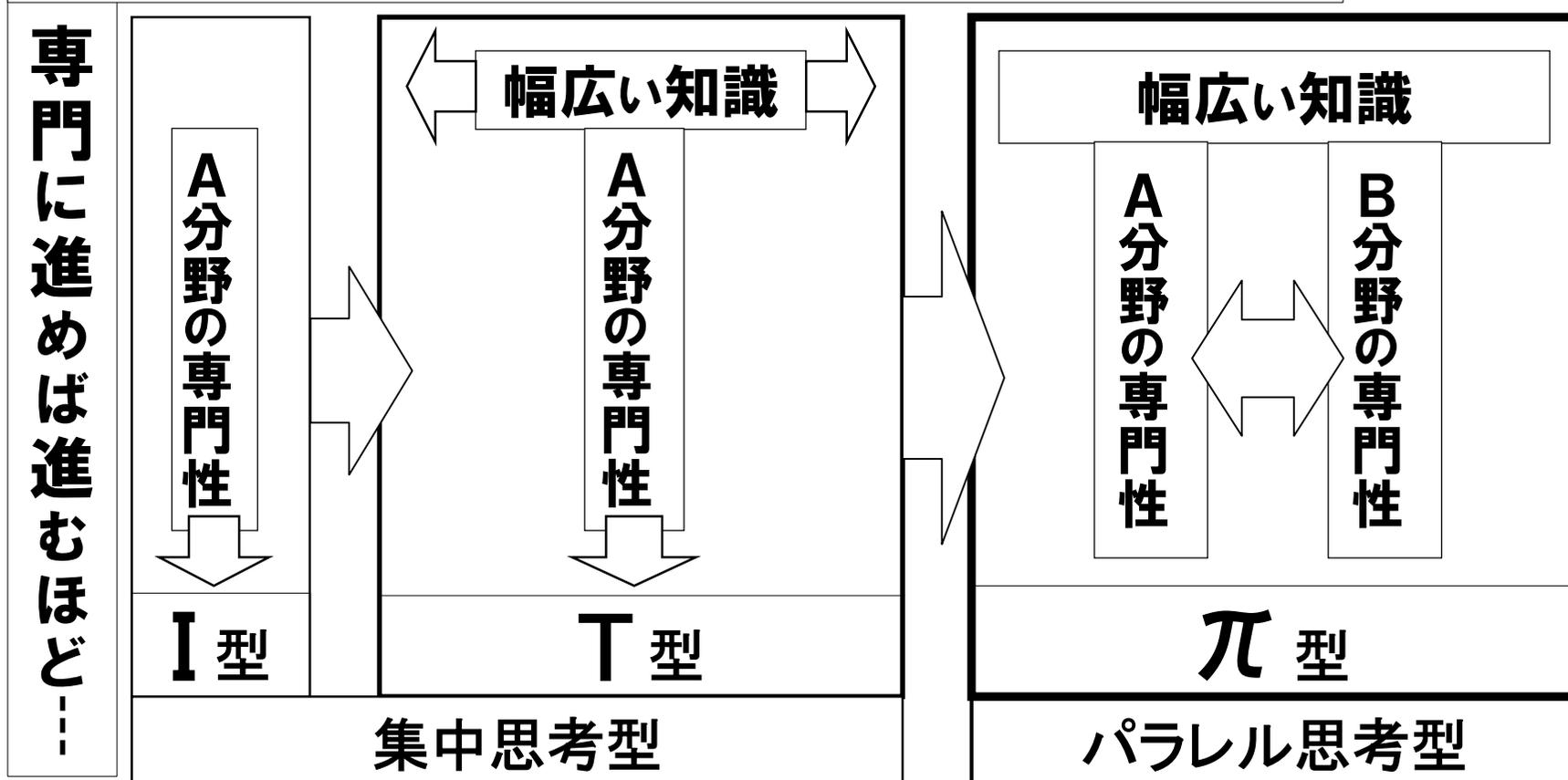
★ 分かり易い例は...



自然現象から
学べることが
まだまだ沢山ある

「分野を超えた独創性」を発揮するためには？

小学→中学→高校→大学→修士→博士→...



浅くても良いから **幅広い知識**と、できれば**2つ以上の専門性** Double Majorを！

東北大学 融合領域...の目的

参照: 文部科学省 平成14年度科学技術の振興に関する年次報告(に大幅補足)

理系の責任 伝えること・相互理解することの大切さ

☆これまでの責任は...

専門家の間で 厳密・深遠
な論議を重ねるために...

☆これからは ... こちらも

異分野アイデアを採用、(理系
以外)他分野へ説明するために...
たとえ科学技術の面で正しさを欠いても

正確に 伝える
学術的 誤解防止

飛行時間型の原理

$$ToF = \frac{L}{v} = L \cdot \sqrt{\frac{M}{2qV_0}}$$

急速加熱ソフト脱離
アレニウスの式

★ 分かり易く 伝える
★ 例え・比喩・置き換え

坂道を玉が転がる

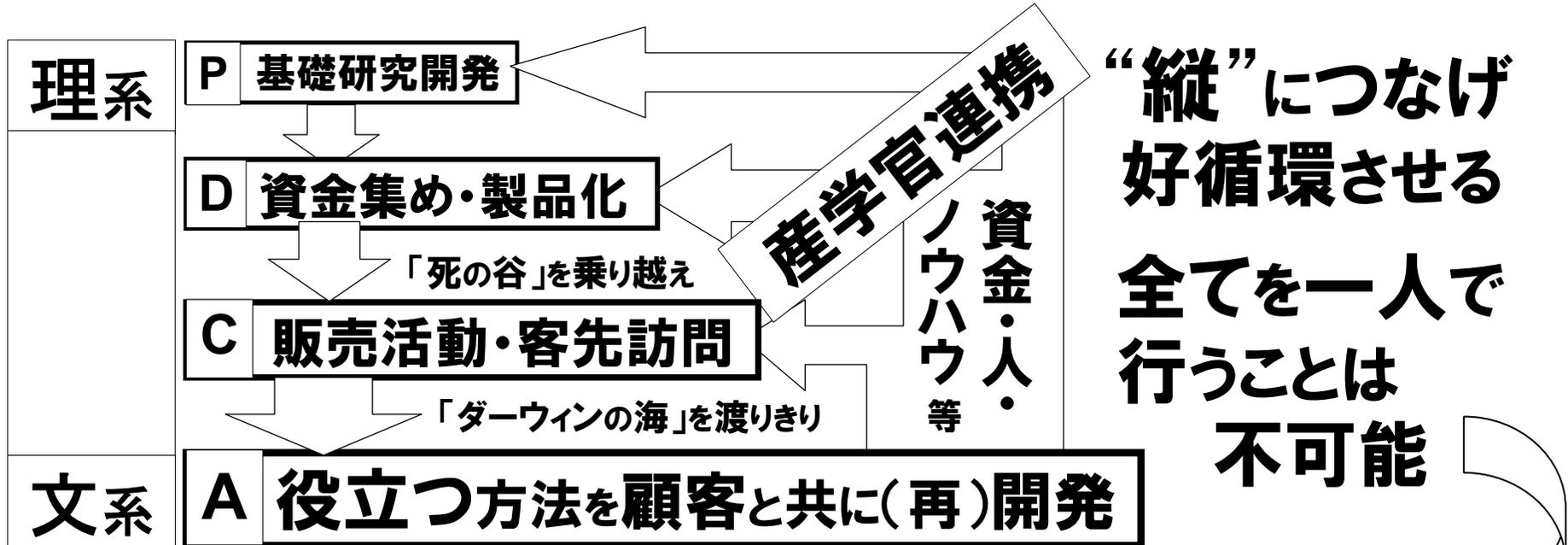


直接ハンマー(レーザ)で叩くのでは
なく (ソフトな)クッションを介して
卵(タンパク質)を飛び出させる

これらの責任を果たすと...

理系の責任と将来性 分野を超えて伝える相互理解する

研究成果が製品となり 役立つまでの流れ（特にベンチャー企業）



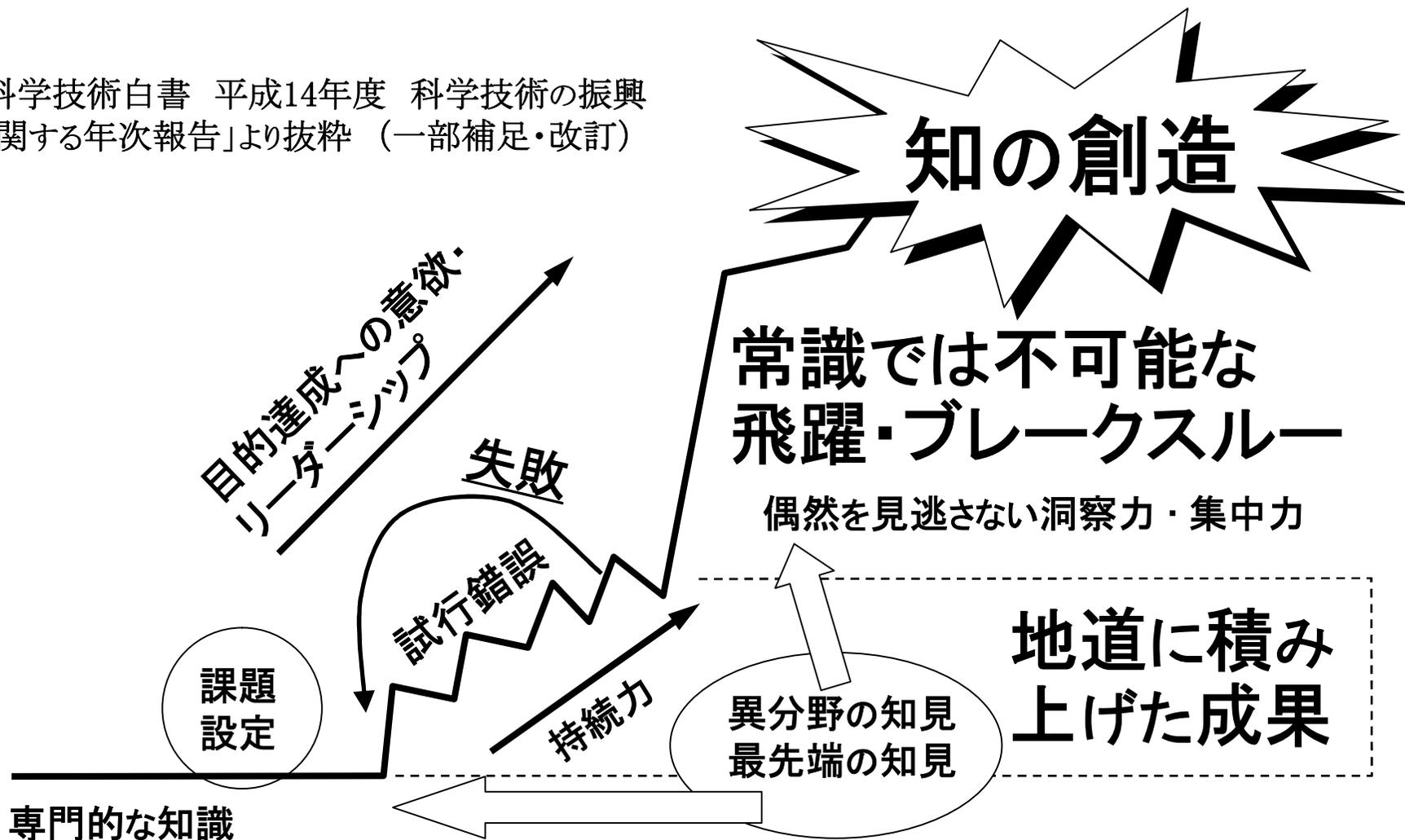
（日本に不足している）「縦の」チームワーク も重要

特に「理系」以外の異分野にも 接点・分かり易く説明・橋渡しすることで、理解・協力・富（豊かさ）・知恵・やりがい・資金が得られ易くなる

私は人との出会い・話す事が苦手だった

独創的な研究・開発を行うためには？

「科学技術白書 平成14年度 科学技術の振興に関する年次報告」より抜粋（一部補足・改訂）



* 地道に積み重ねる努力が、時にはブレイクスルー（独創）を生む

* たとえ独創を生まなく（失敗し）ても、積み重ねた前進が残る

独創性を発揮・育てるためには？（個人的な考えとして）

1. 幅広い知識と（できれば2つ以上の）専門力を持つ

2. 夢と志を持ち続け、地道な努力が実を結ぶ

3. 他分野・異分野と協働（Contact and Discussion）する

4. 皆が欠点・失敗と思うことに取り組む

全てが**必要**な訳ではなく、全てが揃っているから必ずできる訳でもないが、

でも **もっとも大切なのは、**

自分で考え、自分の身体を動かして 取り組むこと

自分の頭で考え、自分の足で歩き、自分の手で作ることの必要は、今でも、どんな**進歩した未来**でも同じ事だ。僕の考え、僕の思いは、いつまでも僕の物でありたい。

—— 小松左京氏 SF未来児童文学「空中都市008」を読んだ **小学校4年生**の読書感想文より
全て自動化されている未来都市が、コンピュータ誤動作で機能不全となる話が含まれていた、と思う