

システムに向かうナノテクノロジー —イノベーションのエンジンとして—

田中 一宜

独立行政法人 科学技術振興機構
研究開発戦略センター

科学技術シンポジウム
「システム構築による重要課題の解決に向けて」
2012年3月2日 スクワール麹町4F羽衣

ナノサイエンス／ナノテクノロジー

1nm—100nm 領域における物質の構造、成長、加工、表・界面、諸物性現象を
原子・分子レベルで観測し、理解し、制御し、それらを応用することにより、
あるいは**他技術と組み合わせる**ことによって、
新しい機能を創出しようとする学術的・技術的領域

1nm(ナノメートル)
1ミリメートルの100万分の一
原子が数個並んだ距離

C60 / 直径~1nm、CNT / 外径1~2nm、グラフェン / 厚さ~1nm
量子ドット / 数nm径、素子サイズ / 数百nm角、LSIチップ(10 μ 角 / 2025)
DNA / 2重螺旋の直径~2nm、ミオシン / 長さ~150nm、細胞 / 1~10 μ m

**新ナノ構造の発明、ナノ特有の機能発見、ナノ領域での
材料、人工物、生体の接続・融合を通して、技術フロンティア開拓**

**生体の自己組織化(自己修復含む)を生産工程で設計できるか？
ナノテクの最終進化過程 / システム化**

ナノテクノロジーは進化する

～異分野融合／技術の統合を通してシステム化へ～

ナノの極限化

要素技術

個別の学術・技術分野でのナノ科学・ナノ技術の極限追求

ナノの融合化

要素技術の融合

学際的研究や異分野融合による新機能・新ナノ技術創製

ナノのシステム化

システム機能へ統合

極限化され融合化されたナノ技術をシステムに統合・構成
(自己組織化と設計法確立)

ナノの極限化
(1980's ~)

ナノの融合化
(2000's ~)

ナノのシステム化
(2010's ~)

ナノテクノロジーにおける“システム化”

システム化Ⅰ（シーズ側）

単純系から複雑系への学術的・技術的進化
異分野融合、自己組織化、計算科学

システム化Ⅱ（ニーズ側）

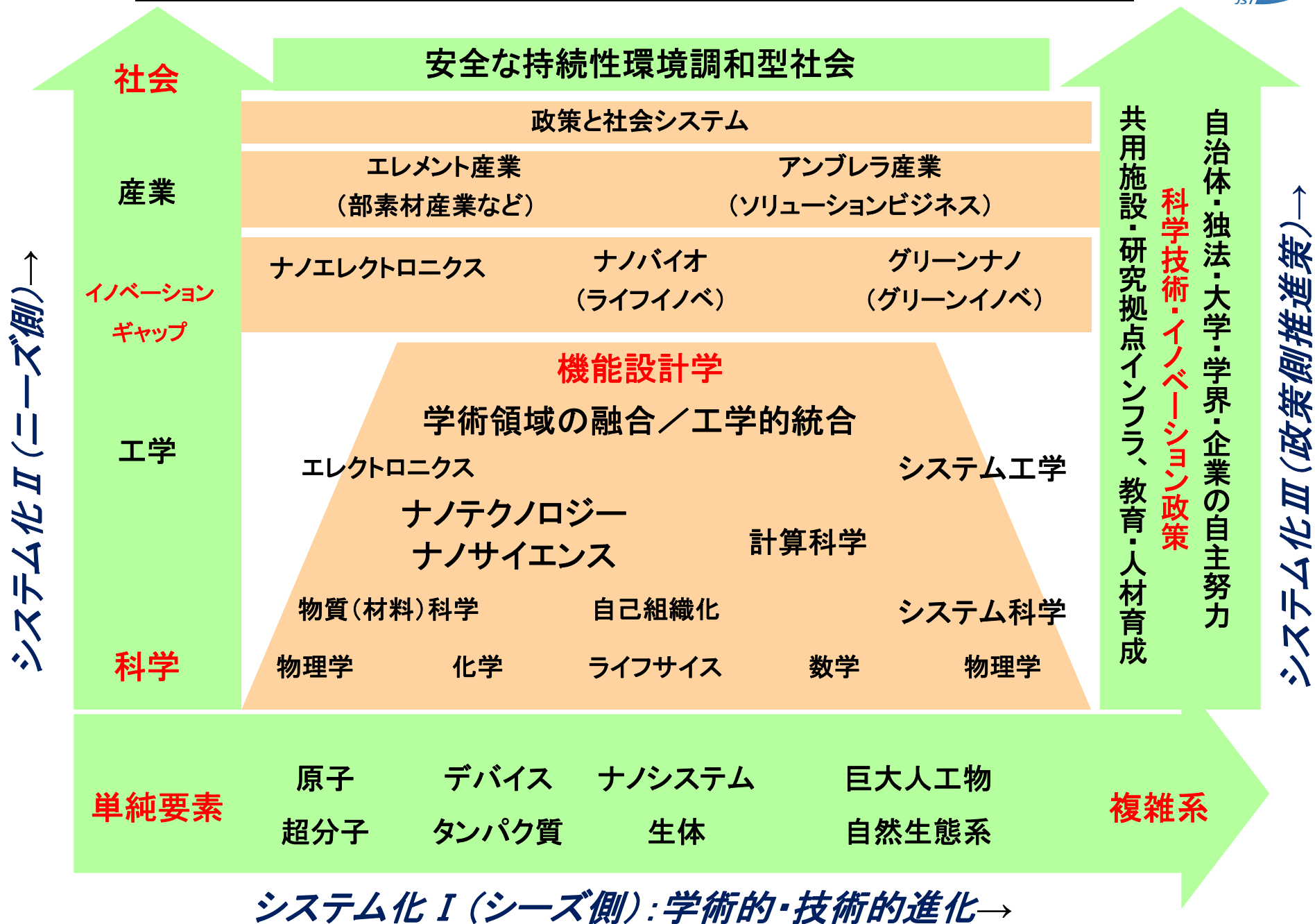
工学的統合と機能設計学の構築
材料・プロセス・デバイス設計、システム最適設計、計算科学

システム化Ⅲ（政策側推進策）

科学技術／イノベーション一体化促進政策
国のガバナンス（府省連携）、融合促進のインフラ
他セクターの自主努力（自治体、独法、大学、学界、企業）

**学術的進化→工学的進化→政策的支援策を通して
イノベーションへ**

ナノテクノロジーのシステム化と産業への貢献



システム化 I (シーズ側)

単純系から複雑系への学術的・技術的進化

物理学、化学、物質科学、ライフサイエンス、数学
生物学と物理学の融合／システムバイオロジー
生物学と化学の融合／ケミカルバイオロジー
生体の形成と自己組織化(究極のボトムアップ)

DNA→*蛋白質*→*細胞*→*組織*→*器官*

自己組織化の解明、複雑超分子の作製
量子コンピューティングシステム

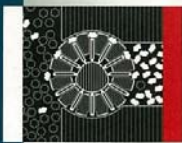
**Convergence of Physical Science,
Life Science and Engineering (MITの戦略)**

Nanosystems

K. Eric Drexler

K. Eric Drexler
Research Fellow
Institute for Molecular Manufacturing
Palo Alto, California

1992 Wiley-Interscience Publication
John Wiley & Sons, Inc.



**Molecular
Machinery,**



**Manufacturing,
and Computation**



**20年前、
「ナノシステム」という表現で
ナノの極限化を
SF的にシステムまで描いて見せた**

システム化Ⅱ（ニーズ側）

諸成果の工学的統合及び機能設計学の構築

異分野融合、基礎と応用の連携、最適設計

DDS（薬剤送達システム）／医学・材料科学・バイオ

高効率・低コスト太陽電池／材料・原理・システム

自己組織化の生産システムにおける実現

超分子設計、物質・材料設計、素子・システム設計

米国(DOE)／制御科学(Control Science)

日本(MEXT)／新元素戦略(機能設計、計算科学)

Advanced Manufacturing Partnership (米国)

Materials Genome Initiative (OSTP, NSF)

計算科学は大化けするか

計算機シミュレーション

元素、組成、合成プロセス／分子動力学→構造→機能
機能(ニーズ)→構造→元素、組成、合成プロセス(逆問題)
機能設計学／工学の本質／俯瞰視野と最適設計／逆問題

EFRC／Center for Inverse Design (DOE)

次世代スパコン「京(けい)」ー10ペタフロップス

演算速度: 1965年当時の100億倍、10年前の1000倍
数十万原子系の第一原理分子動力学計算が可能

Capacity Computing／物質設計の無限の組み合わせ

計算物質科学イニシアティブ(常行／東大物性研)

システム化Ⅲ（政策側推進策）

科学技術／イノベーション一体化促進政策

国としてのコーディネーション機能／ガバナンス
府省連携と融合・連携促進のインフラ構築

共用施設ネットワーク、研究拠点 (Under one roof)

俯瞰的視野を持つ人材の登用、育成

自治体、独法、大学、学界、企業の自主努力

California NanoSystems Institute (CNSI) in 2007, UCLA

Nanoscience & nanotechnology are rapidly changing disciplines



科学的発見のスピードを近代的
施設と最先端物理機器で支援

生命科学, 物理学、工学、医
学の各学部から等距離に建設し
て新しい融合プロジェクトを誘導

大学間、企業との協働のための
ラボを用意、ナノシステムにおけ
る発見の企業化の加速

ナノのシステム化を加速
新たに3ナノシステム研究所
(NSF)

<http://www1.cnsi.ucla.edu/staticpages/>

**システム化Ⅲまで進化
大学と州の自主努力**

システム化Ⅲ（政策側推進策）

科学技術／イノベーション一体化促進政策

国としてのコーディネーション機能／ガバナンス
府省連携と融合・連携促進のインフラ構築

共用施設ネットワーク、研究拠点 (Under one roof)

俯瞰的視野を持つ人材の登用、育成

自治体、独法、大学、学界、企業の自主努力

*再生可能エネルギー政策／日米の戦略構造
政府機関、人材登用、アカデミア、共用施設・研究拠点*

エネルギー技術(低炭素社会)／基本構想

資源小国／技術輸出国

グローバル競争／協調(外交)

各種エネルギーの産業化と需給トータルプラン(短中長期)

科学・技術の総動員／再生可能エネルギー

スピードが命

全体のシナリオを書き、

あらゆる学術分野・技術分野を融合させ、

基礎の成果を応用・企業化へと迅速に受け渡す。

そのための仕組みと関連支援システムを構築する。

**科学技術 + イノベーションの一体加速
実施のためのコーディネーション機能**

再生可能エネルギー政策と戦略構造／日米の比較

(1) 政府機関のメインプレイヤー

		米 国	日 本
全体シナリオ		OSTP	CSTP
		DOE	METI, MEXT, MOE
R&D投資	基礎	DOE	MEXT, METI
	応用	DOE	METI, MEXT, MAFF
	企業化	DOE	METI, MEXT
インフラ	共用施設	DOE, NSF	MEXT
	大型施設	DOE	MEXT

**米国／DOE中心に原子力も含めて全体をコーディネート
日本／プレイヤーが交錯して、全体シナリオをコーディネート
できていない。原子力の聖域化。CSTPの調整限界**

再生可能エネルギー政策と戦略構造／日米の比較

(2) 人材登用とアカデミア

	米 国	日 本
科学・技術政策のトッププレイヤーに物理学者は居るか	DOE長官、科学事務次官、科学局局長は物理学出身。その他にも物理出身者がかなり多い	METI, NEDOには物理学出身者は極めて少ない。一方、化学工学人材を強化
物理学会 (応用物理学会、化学会、電子情報通信学会)	アカデミアの会員はいずれも増加。しかも海外会員の割合が増えている(MRS/45%, APS/21%)。APSは他分野への進出を会員に呼びかけている	物理学会、化学会、電子情報通信学会はいずれも会員数急減。海外会員割合は1~5%。応用物理学会がわずかに会員数を増やしている。

米国は新しい科学技術を必要とする分野には物理学者を招致。アカデミアは学際的发展とグローバル化に熱心。

科学技術と研究者像

ブダペスト宣言

“Science in Society, Science for Society”

(ICSU/UNESCO: World Conference on Science, 1999, Budapest)

社会における科学技術の責任の増大と役割の大きさ

グローバル課題への対応

低炭素社会の実現、生物多様性保全、水、食料、資源の確保、

あらゆる学術領域・技術分野の知を結集して課題解決（工学的統合）

求められる研究者像

社会が要請する課題を常に認識

優れた専門性と強い異分野への興味（広く融合・連携する姿勢）

Steven Chu（ノーベル物理学賞—生物—Bio-X—Helios—DOE長官）

Alan J. Heeger（物理—ノーベル化学賞—Bioベンチャー太陽電池）

国際交流への積極姿勢

再生可能エネルギー政策と戦略構造／日米の比較

(3) 共用施設・研究拠点ネットワーク

	米 国	日 本
共用施設 ネットワーク	NNIN(14)(NSF) NCN(7)(NSF)	ナノネット(13)(MEXT)
研究拠点 ネットワーク	NREL, NSRC(5), EFRC(46)(DOE)。 Albany Complex	太陽電池コンソ(AIST) TIA(METI/MEXT)
インフラへの 予算配算 (ナノテク国家計画 のケース)	長期投資計画	予算の数値目標なし。 米国より1桁少額

**連携・融合の加速システムとしてのインフラが
日本は脆弱**

システム科学／社会との密な交流

- システム科学、研究としてタコツボ化してはならない
タコツボ型 vs ササラ型(丸山真男)
- システム思考とは俯瞰能力
部・素材技術の質高く、ビジネスに弱い(水、DRAM)
人も組織も(学界含め)グローバルスケールで思考
- 現実に対応できる柔軟性が必要 (Resilience)
日本人は「元々内向き」ではない／開明の精神あり
時勢に疎い孔孟を批判 (福澤諭吉: 文明論之概略)
和・洋学の融合、国際外交戦略 (橋本左内: 藩への書簡)

システム科学は社会とのコミュニケーションから

まとめ

- ー ナノテクノロジーはイノベーションのエンジン
(米国大統領3代が党派を超えてNNIを支持)
- ー 2020年に向けてナノテクはシステム化を目指す
(極限化→融合化→システム化)
- ー ナノテク／三つのシステム化 (ナノテクに限らず)
 - ① 単純系から複雑系への学術的・技術的進化 (シーズ側)
 - ② 工学的統合と機能設計学の構築 (ニーズ側)
 - ③ 政策側推進策との協働／各セクターの自主努力
- ー システム化には、人も組織も俯瞰視野を持つことが前提
タコツボにならず社会と密な交流を

システム科学はイノベーション政策と密接に連携