知的材料のインテリジェント形創製とスマート形創製の差異について

An Aspect on A Difference between Intelligent Materials and Smart Materials

正 江川幸一（新潟工科大学）

Koichi EGAWA, Niigata Institute of Technology, Fujinashi, Kashiwazaki, Niigata

Key Words: Intelligent Materials, Smart Materials, Conceptional Study, Developmental Guidance

1. はじめに

18世紀後半に始まった産業革命以来、我々は多くの工業材料を生み出し、これに既存の材料を加えて人工衛星、航空機、自動車、船舶、橋梁、高架高速道路、土木・建築構造物、鉄道網、空港、港湾設備などを作り上げ、日々の生活を便利に、さらに快適なものとしてきた。これらの材料と構造は全て生命の無いものであり、長い、使用の歴史とともに我々はそれを当然の事としてきた。

これに対して“材料と構造に生体と同じ機能を持たせ、同じ働きをさせよう”とする、我々の常識を根底から覆す、革命的な、実に驚くべきコンセプトが生まれてきた。この考え方の直接的な表現の一つはロボットであろう。しかし、インテリジェント材料・構造の考え方は生体の代用品を作るのではなく、現存する各種の材料や構造に生体と同じ機能を持たせようとするのである。

2. 概念の出現とインテリジェント材料研究の方向

このコンセプトは1984年に通産省工業技術院機械試験所（現機械技術研究所）の島村氏によって唱えられ[1]、用語として知能材料（Intelligence Material）が用いられている[2]。これは材料開発のトレンドから推測されて出現したもので、そのとき既に出現していた複合材料を第4世代の材料とし、次の来るべき第5世代の材料としてインテリジェント材料の出現を予期したのである。

さらに、最近の我が国におけるインテリジェント材料・構造の研究は、科学技術庁長官の諮問第13号に対する航空・電子等審議会の答申「環境条件に知的に应答し、機能を発現する能力を有する新物質・材料の創製に関する研究開発の推進について」（平成元年11月）[3]に始まることは、多くの人の知るところである。本答申によれば知的材料創製には表1に示すような行き方があり、その後の知的材料創製のための研究展開はこの線に沿って行われている。

表1 知的材料創製の3つの行き方

ミ	ク	ロ	：（原子・分子レベル）
メ	ソ	コ	ッピク：（ の集合体レベル）
マ	ク	ロ	：（固体レベル）

3. インテリジェント型創製とスマート型創製の差異

一方、工学分野（エンジニアリング）での知的材料・構造研究も材料創製研究（材料のインテリジェント型創製）と同じ概念から出発し、各種構造物に同じ機能を発現させようと試みるものである（材料のスマート型創製）。しかも先進の概念提示と研究進展がいずれも材料研究からスタートしていること

から、その成果も同一のものが得られると期待するのはきわめて自然な考え方であろう。しかし、この二つの研究に異同はないであろうか。

いま、これを調べるために、材料と構造の知能化に共通する目標の一つである、損傷制御を例にとりて検討してみよう。図1は材料創製研究のハイブリッド法による一例で、金属材料の機械的特性に影響を与えない大きさ（1 ほど）の微粒子を材料中に混入して、これの破壊時に音波を発生して破壊の予知し、また着色などにより亀裂を検知する、あるいは相変態を起こす物質や酸化を助長する物質により滑り変形や亀裂の進展を抑制しようとするものである[4]。

図1 自己診断と損傷抑制を行う知的材料の概念⁴⁾

一方、エンジニアリング的な行き方、すなわちスマート型材料創製では工学的な意味でのハイブリッド法、すなわち、取り付け、挿入、重ね合わせ、畳み込みなど以外に選択の余地はないが、いま、図2に示す例について検討してみよう。これはノッチのある炭素繊維積層複合材料の引張り試験片に形状記憶合金（SMA）のワイヤを数本埋没させたもので、ノッチ部からの亀裂進展を SMA ワイヤの抵抗変化から検知し、その瞬間に SMA ワイヤに電流を流して加熱し、それによるワイヤの形状記憶に伴って発生する圧縮力により、亀裂の進展を阻止しようとするものである[5]。動的負荷の場合には図（b）に示すように電気抵抗ひずみゲージなどのセンサにより亀裂の発生、進展を検知し、進展阻止のためのアクチュエータとして圧電セラミック（PZT）を応力集中部に接着して、負荷と逆位相の力を加えて負荷の実効分を低減し、寿命の延伸を計る仕組みとなっている[6]。（ここで SMA ワイヤに替えて PZT を用いているのはアクチュエータの応答速度による。また、図（a）の場合と同様に PZT にセンサの役割を担わせ、システムを簡素化することが可能である。）

図2 知的構造での損傷抑制⁵⁾⁶⁾

以上の例から次のことが導かれる。すなわち、インテリジェント型材料創製とスマート型材料創製の研究は一つの革新的な概念から出発したが、その実現方法と実現時の形態には大きな差異が存在する。別言すれば、同じ目的で材料の知能化を計ってもその発現の仕方は異なるのである。すなわち、材料創製研究（インテリジェント型材料創製、略号 IM）と工学的材料創製（スマート型材料創製、SM）では、

1) 完成時の特性と形態

(1) 知能特性

IM: あらゆる方向に同じ機能（センサあるいはアクチュエータ機能）を持ちうる可能性大。

SM: 目的とする方向にのみ知的機能を持つ*

(2) 材料特性

IM: 材料自体の性質に大きな変化無く、均質・等方性保持、強度、疲労特性など不変か若干低下。

SM: 材料特性が大きく変わる。均質・等方性が失われ、強度、特に疲労強度が激減する恐れあり。

(3) 完成時の形態

IM: 素材。

SM: 部材または部品。（特定の用途のみに使用する。）*

2) 構成方法

IM: 材料自体が、センサ、アクチュエータおよび論理回路の全て、あるいはその内のいくつかの機能を持つ。

SM: 目的とする方向にセンサ、アクチュエータを配置し、論理回路と結合する。いずれも外部からの取り付けか材料内部への埋没。センサとアクチュエータは数mmから数10mmのオーダーで大きい。

主として電氣的に検知と駆動を行うため配線（直径mmオーダー、長さmオーダー）を要す。

これらを簡単にまとめると表2に示すようになる。

4. おわりに

前述したように、知的材料創製については科学技術庁長官に対する答申第13号が出されているが、これはここで言うエンジニアリング的な行き方の研究開発に対するガイドラインではない。このため今後、知的構造(材料)の研究開発についてのガイドラインをまとめ上げて行くのは、工学研究に従事する我々、知的構造(材料)研究者に課せられた仕事の一つである、と筆者は考えている。

(*については講演会場にて説明する。

表2 知的材料と知的構造の差異

	知的材料	知的構造
構成方法	材料それ自体がセンサ、エフェクタ（アクチュエータ）、論理回路を持つ	センサ、アクチュエータ、制御回路を外部から既存の構造に取付ける（外付け、埋設）
完成時の形態	素材（均質、等方でありうる）	部材（目的に適する方向にセンサ、アクチュエータを配置する）
センサとアクチュエータ		目的に応じて選択

参考文献

- (1) 島村, 最近の複合材料, 機械の研究, 29-1 (1977), 227-234.
- (2) 島村, 知能材料試論, 金属学会会報, 23-8 (1984), 656-661.
- (3) 航空・電子等審議会, 諮問第13号に対する答申, (1989), 1-82.
- (4) 松岡, 金属系インテリジェント構造材料の創製例 工業材料, 39-6 (1991), 115-119.
- (5) Rogers, C. A. ほか, Damage Control of Hybrid Material Systems Using Induced Strain Actuator, 32nd Structural Dynamics and Material Conference, Part2 (1991), 1190-1203.
- (6) Rogers, C. A. Mechanics Issue of Induced Strain Actuation, Proc. of 1st European Conf. of Smart Structures and Materials (1994), 163-175.
- (7) Schultze K., Some Aspect on Health Monitoring in Composite Materials, Abstract of 3rd Int. Conf. on Intelligent Materials, (1996).