

# インテリジェント材料と スマート(構造)材料との差異について

江川 幸一\*

(平成11年10月31日 受理)

## A Comment on A Difference between Intelligent Materials and That Structures

Koichi EGAWA\*

A difference between intelligent materials and that (smart) structures is pointed out here. In the parts of smart structure, for example, their isotropic and homogeneous property is lost in contrast with in intelligent materials their original material property is still kept. This difference should be noticed for the researchers in engineering region developing smart structural study and its application (including structural health monitoring study).

Key words: Intelligent material, smart structure, conceptional study, comment

### 1. はじめに

“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、いわゆるインテリジェントあるいはスマートと呼ばれる概念は、その革新性と有利性から理学と工学の数多くの分野で受け入れられ、研究が進められている。その二分野として材料の知能化と構造の知能化がある。

### 2. 概念の出現と知的材料研究の方向

この概念は1984年に通産省機械試験所(現機械技術研究所)の島村氏によって唱えられ<sup>1)</sup>、用語として知能材料(Intelligence Material)が1977年に同氏によって用いられている<sup>2)</sup>。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、その時すで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世代の材料として知的材料の出現を予期したのである。さらに、最近の我国における知的材料・構造研究は、科学技術庁長官の諮問第13号に対し平成元年11月に出された航空・電子等審議会の答申「環境条件に知的に応答し、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総合的な研究開発の推進について」<sup>3)</sup>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3つの行き方があり、その後の知的材料創製のための研究展開は

---

\*機械制御システム工学科 教授

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	ピ	ク	：	( $\mu$ mの集合体レベル)
マ	ク	ロ	：	(固体レベル)		

### 3. 知的構造研究と知的材料研究の差異

一方、工学分野（エンジニアリング）での知的材料・構造研究は、その名の示す如く材料創製研究と同一の概念から出発し、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。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思考であろう。しかし両研究に異同はないのであろうか。

今これを調べるために1例として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って検討してみよう。図1は材料創製研究のハイブリット法による1例で、金属材料の機械的特性に影響を与えない大きさ（ $1\mu\text{m}$ 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たり着色などによりき裂を検知する、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き裂を抑制しようとするものである<sup>4)</sup>。

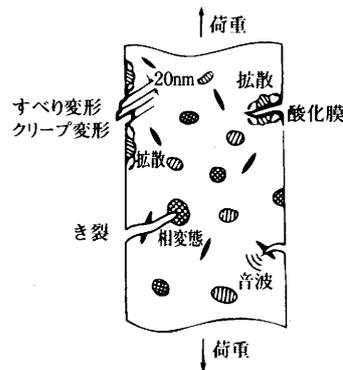


図1 自己診断と損傷抑制を行う知的材料の概念<sup>4)</sup>

一方、構造についてはハイブリット法以外に選択の余地はないが、図2はノッチのある炭素繊維積層複合材引張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、ノッチ部からのき裂進展をSMAワイヤの抵抗変化から検知し、検知した瞬間に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、き裂の進展を阻止しようとするものである<sup>5)</sup>。動的負荷の場合は図（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き裂の発生・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ス（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<sup>6)</sup>。しかし、

実際には図 (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。

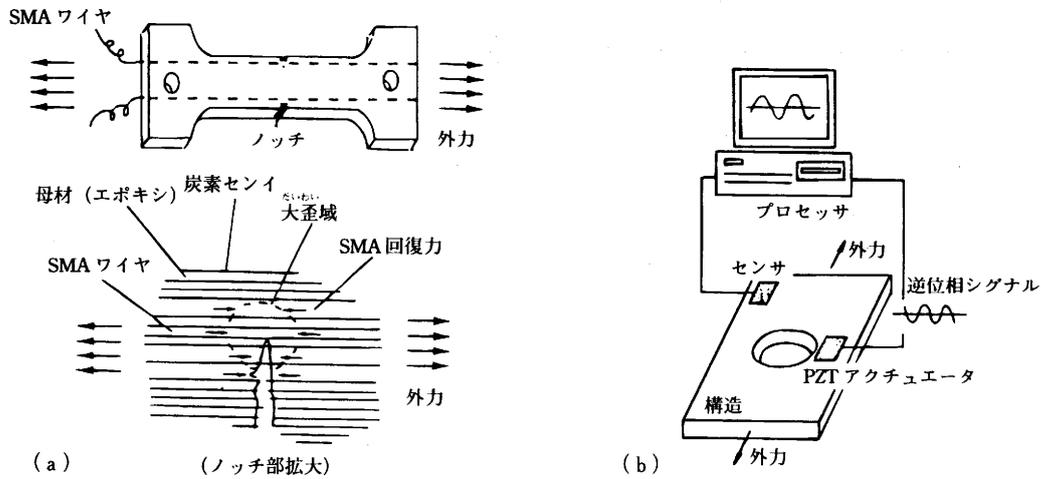


図2 知的構造での損傷抑制<sup>5)6)</sup>

以上の例から次のことが導かれる。すなわち知的材料と知的構造の研究は1つの革新的な概念から同時にスタートしたが、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。別言すれば材料創製とエンジニアリング的行き方では、同じ目的で材料(部材)の知能化を計っても、その発現の仕方は異なるものである。すなわち、知的材料(IM)と知的構造(SS)では、

(1) 完成時の形態

(a) 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。  
 SS:目的とする方向にのみ知的機能を持つ\*。

(b) 材料特性 IM:材料自体の性質に大きな変化なく均質・等方性保持,強度,疲労特性など不変か若干低下。  
 SS: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。

(c) 完成時の形態 IM:素材。

SS:部材または部品。(特定の用途にのみ使用する。)

(2) 構成方法 IM:材料自体がセンサ,アクチュエータ,論理回路を持つ。センサとアクチュエータは極微小長(径)か,あるいは材料自体がセンサやアクチュエータの機能を持つ。

SS: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付けか材料内への埋没。センサ

\*センサやアクチュエータの多次元配列を行えばIMと同じ特性となりうるものと考えられるが,材料の強度特性の激減,システムの複雑化,コストの激増などを招く。

とアクチュエータはmm～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（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。

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	材料それ自身がセンサ，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

スマート構造（SS）的に行き方，すなわちエンジニアリング的な行き方で材料（部材，部品）や構造にインテリジェント性を持たせようとすれば配線（ワイヤリング）は必須で，センサとアクチュエータを埋没するにせよ外付けするにせよ，この問題は避けえず，十分な配慮を要する問題なのである。

前述したように知的材料創製については航空・電子等審議会の答申が出されているが<sup>3)</sup>，これは知的構造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，知的構造の研究開発についてのガイドラインをまとめ上げてゆくのは，工学研究に従事する我々，知的構造研究者に課せられた仕事の1つである，と筆者は考えている。

#### 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) Schulter K., Some Aspect on Health Monitoring in Composite Materials, Abstract of 3rd Int, Conf. on Intelligent Materials, (1996).