

# 地球環境問題は追い風となるか

浅井 滋生 / 名古屋大学工学部

地球環境問題の視点から先に材料評価指数として「エコ強度」なる無次元数を提案した<sup>1)</sup>。ここでは改めて「エコ強度」について述べるとともに、材料の中でも鋼に焦点を絞って地球環境問題とのかかわりを見ることにする。

## 「エコ強度」の提案

100を越す元素の組み合わせにより様々な性質を有する物質が作られる妙は、神のなせる業とただただ感心するのみである。人類はこの物質群からそれぞれの時代の要請と技術に応じて材料を選び、生活を営んできた。石器時代、青銅器時代から現代に至る鉄器時代と、用いられた石、青銅、鉄への変遷にはいずれも歴史的必然があったことはご承知のとおりである。

ここ20年、材料革命の時代と言われて久しいが、詳細に見るとその時々の社会的要請に応じて材料の特性を表す指標も変化している。材料の機械的性質を表す「引張り強度」、「粘り強さ」は強くて靱性に富む材料を指向した指標といえる。次に、強度を密度で割った「比強度」なる指標は軽量かつ高強度の材料を指向したもので、この指標の裏に隠されている社会的要請は高加速性、高速性、大型化の追求であったといえる。具体的には自動車、飛行機等の機能性の追求および大型建造物が思い浮ぶ。

さて、今日我々は地球環境問題に直面し、材料分野においても「エコマテリアル」といった言葉が生まれている。この場合の社会的要請は地球環境をできるだけ乱さないで造り、使うことができる材料への指向である。すなわち、社会的要請（材料を製造する上での条件）が「より速く、より大きく」から「より地球に優しく」に変わったと見ることができよう。そこで材料の特性を表す指標も当然変わるべきと考える。その指標とはより少ないエネルギーで製造でき、かつより大きな強度を有する材料を指向するもので、これを「エコ強度」と命名してはいかがであろう。

対象を金属材料に限定するならば、その多くは酸化物の状態で産する鉱石を還元して造るので、還元に必要なエネルギーで比強度を割った、 $\tau$  (強度) /  $\{\rho$  (密度)  $\cdot \Delta H_{th}$  (理論エンタルピー変化)  $\}$  を定義すれば  $[(N/m^2) / \{(kg/m^3) \cdot (J/kg)\}]$  となって無次元数となる。ここで、理論エンタルピー

変化 $\Delta H_{th}$ は次式

$$MO_x(S) \rightarrow M(S) + (X/2)O_2(g) + \Delta H_{th} \quad (M: \text{金属})$$

の反応式から求まるものである。この指標は「エコ(理論)強度」と呼ぶべきもので $\Delta H_{th}$ は鉱石の還元に必要な理論上の必要最小エネルギーである。実際には鉱石から材料を造る際にはその工程に応じて必要エネルギーは異なる。この材料を造るに必要なエネルギー $\Delta H_{act}$ を用いて「エコ(理論)強度」を定義し直した無次元数 $\tau / (\rho \cdot \Delta H_{act})$ が「エコ強度」と呼ぶに相応しいのではないだろうか。なお、この指標にはこの材料を用いて造られた機器が運転中に生じせしめる経済的効果(例えば、高性能エンジンは燃費節減につながる)は含まれていない。この効果を加味するためには、最終製品と使用状況とを決める必要がある。これら諸々の要因は最終的には材料価格に反映されるであろうから、「比強度」をその材料の価格で割った指標も定義できる。この指標は $\tau$  (強度) /  $\{\rho$  (密度)  $\cdot$  単価(円/kg)  $\} = J$  (ジュール) / 円でエネルギー単価の逆数となる。エネルギーのJ(ジュール)は、価格で評価できるからJ/円は本来無次元数であると考えられる。エネルギーと価格との変換係数として我々に一番親しまれているものは電気料金である。そこで電気料金、約10円/kW-hrを用いて、 $\tau$  (強度) /  $\{\rho$  (密度)  $\cdot$  単価(円/kg) / 電気料金(円/J)  $\}$  と定義すれば明らかに無次元数となる。これを「エコ(経済)強度」と呼んではいかがであろう。

表1にコモンメタルである鋼、アルミニウム、銅と新素材のチタン、チタンアルミニウムの「エコ(理論)強度」、「エコ強度」、「エコ(経済)強度」の試算値を「引張り強度」、「比強度」と共に示す。

表1 各種金属のエコ強度

	エコ(理論)強度(-)	エコ強度(-)	エコ(経済)強度(-)**	引張り強さ(MPa)	比強度(Pa/(kg/m <sup>3</sup> ))
Steel	$8.4 \times 10^3$	6.2	$17 \times 10^{-4}$	490	$62 \times 10^3$
Al	$0.7 \times 10^3$	0.1	$4.1 \times 10^{-4}$	59	$22 \times 10^3$
Cu	$8.9 \times 10^3$	$1.8 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-4}$	230	$25 \times 10^3$
Ti	$3.2 \times 10^3$	$0.8 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^{-4}$	290	$64 \times 10^3$
TiAl	$4.4 \times 10^3$ *	-	$1.5 \times 10^{-4}$	400	$110 \times 10^3$

\* 純Tiと純Alから生成されるものとし、Ti+Alの反応熱は考慮されていない。

\*\*1994年 現在

## 地球環境問題と鉄鋼業

表1を見てまず気付くことは「エコ（理論）強度」の値は10倍内外で整っているのに対し、「エコ強度」の値には大きな開きがあることである。鋼のそれはアルミニウムの60倍、新素材であるチタンの8000倍である。地球環境問題の高まりと共に、この数値の重みは今後ますます大きくなり鉄には追い風として作用することとなろう。一方、鉄鋼業においてはCO<sub>2</sub>問題もクローズ・アップされつつある。これはエネルギー問題と不可分であり、炭素税導入の暁には製造価格に反映され「エコ（経済）強度」の値を下げるので、逆風となる。方向の異なる二つの風の合成ははたしてどちらに向くのであろうか。今後の推移を見守りたい。

もう一つ表1の数値で気付くことは、「エコ（理論）強度」と「エコ強度」の値には大きな隔たりが見られることである。これは金属酸化物還元のエネルギー $\Delta H_{th}$ は材料の製造に要するエネルギー $\Delta H_{act}$ に較べて無視しうるものであり、金属製錬技術には革新の大きな余地が残されていることを物語っている。21世紀にはメカニカルアロイング<sup>2)</sup>、バクテリア・リーチングといった高温状態を経由しない製錬法が登場しているのかもしれない。その暁には「エコ強度」と「エコ（理論）強度」の値はかなり接近するものとなろう。

## 材料エネルギー価格

先にも述べたが、「比強度」をその材料の価格で割った指標 $\tau$  (強度)/ $\{\rho$  (密度)・単価(円/kg)}はJ (ジュール)/円の単位を持つ。この指標の逆数は材料強度にまつわるエネルギー単価を表すので、これを「材料エネコスト」と呼ぶことにして、表2に示す。鋼の「材料エネコスト」は1kW-hr

表2 各種金属の材料エネコスト (1994年 現在)

	円/J (ジュール)	円/kW-hr
Steel	$1.6 \times 10^{-3}$	$5.8 \times 10^3$
Al	$6.8 \times 10^{-3}$	$24 \times 10^3$
Cu	$9.3 \times 10^{-3}$	$33 \times 10^3$
Ti	$22 \times 10^{-3}$	$79 \times 10^3$
TiAl	$19 \times 10^{-3}$	$68 \times 10^3$

当たり5千8百円であり、電気料金の10円に較べてかなり高価なものとなっている。

最後に、表1と表2の作成に当たっては大きな仮定が数多くなされているため、ここに示した数値はあくまでも比較のための概算値とお取り頂きたい。皆様の忌憚のないご意見と共に、地球環境保護を念頭に置いたより適切な指標のご提案をお待ちしています。

本稿作成に当たりましては下記の方々に、データの提供および有益なご助言を賜りました。名古屋大学工学部 山内陸文氏、新日本製鐵株式会社室蘭技術研究所 (故)前出弘文氏、草野祥昌氏、日鉱金属株式会社企画調査部 大蔵隆彦氏、住友シテックス株式会社研究開発センター 金子恭二郎氏、住友軽金属株式会社プロセス研究部 林典史氏、ここに厚くお礼申し上げます。また、当初「環境保護材料強度」としていたものを「エコ強度」と命名下さいましたのは日本鉄鋼協会 島田仁氏であることを記し、お礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 浅井滋生：日本金属学会誌会報，まてりあ，33(1994) 5，p.97
- 2) 徳満和人ら：日本金属学会春季講演概要，(1994) p.180~181

(平成6年4月12日受付)