98

アモルファス金属

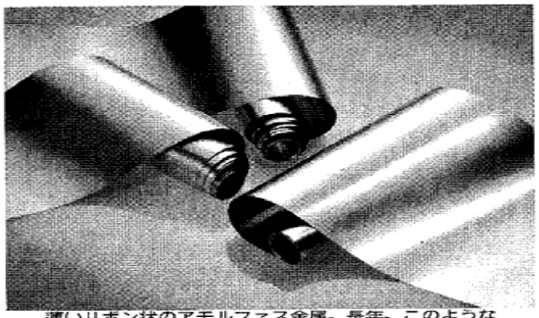
急冷でできる結晶なしの固体

磁化しやすく、金型での微細加工も

テクノ編集局 TECHNO

固体なのに結晶構造を持たないユニークな金属がある。アモルファス（非晶質）金属と呼ばれ、1980年代に米国で発見された。これまでにはその電磁的特性が注目され、変圧器の鉄心などで使われてきた。近年では塊（バルク）状のアモルファス金属と製法が発見され、そのあまり強さ（高靭性）や高い耐食性といった特徴を生かそうと、盛んに研究が行われている。

（仙台・陶山陽久、清水信彦）



薄いリボン状のアモルファス金属。長年、このようなリボン状にしか成形できなかった（日立金属提供）

毎秒100万度C冷却

アモルファス金属はなぜ結晶を持たないのか。その秘密は固体になる際のスピードにある。通常の金属では、液体が冷えて固まる際に内部に結晶ができてしまう。ところが一部の合金では、結晶ができる速度よりも速く冷却すると、結晶のない固体を得ることができる。これがアモルファス金属だ。

例えば、磁性材料として使われている鉄とケイ素、ホウ素からなるアモルファス金属の場合、溶かした合金を水冷式の銅合金製ロールの上に流し一気に冷やして作る。非常に短い時間だが1秒当たりの冷却速度は100万度C。この方法では薄いリボン状のものしか作られない。「毎100万度Cを超える速度で量産するのは容易ではない」（日立金属軟磁性材料カンパニー）という。

鉄系アモルファス金属の特徴として挙げられるのが優れた「軟磁性」を持つこと。強い外部磁場をかけなくても磁化しやすく、磁力の強さや磁極の向きを変えやすいことを指す。周囲に銅線を巻いて電磁石にすれば、少ない電力ロスで高い磁力が得られる。

変圧器に応用

この特性を利用して産業応用が進んでいる分野が変圧器の鉄心。現在、鉄系アモルファスの90%以上が配電用変圧器で使われているという。

なぜ、アモルファス金属は軟磁性を示すのか。アモルファスは結晶を持たず、原子配列の乱れ（転位）もない。このことが、金属内部で磁束の向きが変わる際の抵抗を少なくし、優れた軟磁性を示すようになるという。

従来、薄いリボン状のものしか作れなかったアモルファス金属ところが90年代以降、バルク塊形状のアモルファスが得られる合金が発見された。とくに、ガラスと同じような物理的性質を持つアモルファス合金は「金属ガラス」と呼ばれ、注目されている。

加工容易な金属ガラス

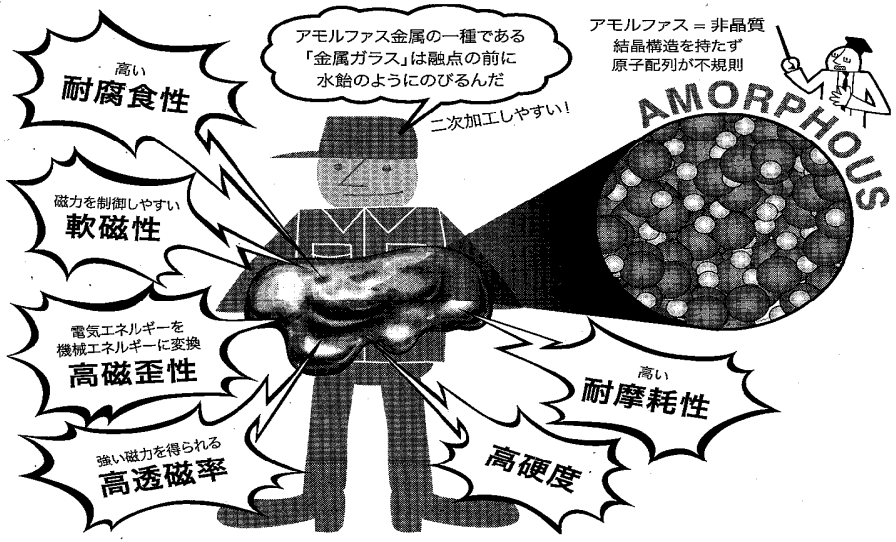
金属ガラスを研究する東北大学金属材料研究所教授の牧野彰宏さんは「金属ガラスはアモルファス金属の親せきのようなものだが、原子配列のランダム構造がもっとも理想的な形になっている」と構造の違いを説明する。その大きな特徴は「過冷却液体状態」で安定すること。

通常の金属の場合、固体を加熱していくと一定の温度（融点）で液体に変わる。これに対し金属ガラスは、融点の前に、水あめのような粘性流動状態になる。これを過冷却液体状態と呼ぶ。過冷却液体状態に変わる温度は種類によって異なるが、長いは100度C程度で軟らかくなる金属ガラスも見つかっている。

この過冷却液体状態を利用することで、金属ガラスの二次加工が容易になる。例えば、低い温度で軟らかくした金属ガラスに金型を使ってナノメートルナノは10億分の1サイズの凹凸を付けることができれば、切削くずの発生を防ぎ材料の無駄も省ける。こうした性質から、微細形状で強度が求められるような部品への応用が期待されている。

金属ガラスは、鉄系から非鉄系まで100種類以上が見つかっている。このうち、粘性状態で加工するのに適しているのはジルコニウム系の金属ガラスで、企業による実用化研究が活発化している。

ただ、「今のところ実用化の課題はコスト面にある」と牧野さん。ジルコニウム自体が高価なうえ、ジルコニウムを加熱するには真空状態をつくる必要があるなど、加工費がかさむためだ。技術開発に加え、コストに見合った用途の探索も求められている。

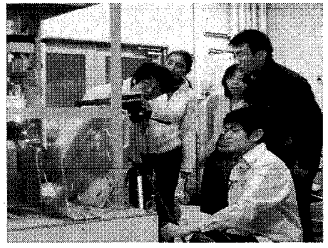


取材ノート

ポスト・アモルファスに注目

アモルファス金属の発見から約半世紀。現在では機械的特性や磁力特性で既存のアモルファス金属を超える「ポスト・アモルファス」の新材料開発が盛んに進められている。バルク状に加工でき、しなやかな機械的特性を持つ金属ガラスはその一つ。さらに、磁力特性に優れた「ナノ結晶材料」もアモルファス金属から派生した新材料として注目されている。

ナノ結晶は結晶粒径が10ナノ—100ナノメートルサイズの構造を持ち、アモルファス金属と同様に軟磁性に優れる。最近では、鉄系アモルファス金属の弱点だった磁束密度（磁場の強さ）の低さを改善したナノ結晶材料が開発されており、鉄心材料への実用化が期待されている。



東北大学金属材料研究所・牧野研究室での新材料開発の実験風景